

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

Código del Proyecto: 1401067

Nombre del proyecto o actividad: “Innovación en desarrollo y manejo de plantaciones de bambú (*Guadua angustifolia* y otras) dentro del ámbito bioenergético y de servicios ambientales en cooperación la Red nacional de Electricidad”

Departamento Académico responsable: Escuela de Ingeniería Forestal-
Centro de Investigación en Innovación Forestal.

Investigador coordinador: Elemer Briceño Elizondo PhD.

Investigadores colaboradores:

Edwin Esquivel Segura Ing. Forestal
Mario Guevara Bonilla Ing. Forestal
Dagoberto Arias Aguilar Ing. Forestal

INFORME FINAL: TÉCNICO

**Vicerrectoría de Investigación y Extensión
2018**

	Contenido	
1.	Resumen	2
2.	Introducción.....	3
3.	Marco Teórico	4
4.	Materiales y Métodos	6
5.	Resultados.....	9
5.1.	Capítulo 1: Evaluación de la situación de las plantaciones del Embalse Arenal	10
5.2.	Capítulo 2: Plan y Manual de manejo.....	20
5.3.	Capítulo 3: Tasa de producción de biomasa de plantaciones.....	28
6.	Capítulo 4: Transferencia de conocimientos.....	48
7.	Conclusiones.	118
8.	Referencias.	118
9.	Anexos.	121

1. Resumen

El auge en la utilización del bambú está empezando a cobrar fuerza a nivel nacional. Actualmente, productores de distintas zonas del país se organizan para ampliar sus opciones productivas. A nivel de gobierno, el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), bajo la guía de la comisión nacional de bambú (CNB), ha establecido varias líneas de acción en el manejo de bambú, teniendo como objetivo general: “Constituir la producción, industrialización y comercialización del bambú, en una opción real y sostenible para elevar las condiciones de vida de la población nacional vinculada con el sector agroindustria, consolidando un desarrollo económico inclusivo, sostenible y en total armonía con el ambiente, que impulse la gestión equilibrada de los territorios rurales, apoyada en una articulación eficiente y eficaz de la institucionalidad pública y privada”.

Para otras instituciones del estado como el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) el manejo de especies de bambú toma varios puntos de interés. Para el ICE (entonces y en el presente), la ampliación del anillo boscoso del área de amortiguamiento del embalse, prevención de erosión y escorrentía de sedimentos hacia el embalse, como también para salvaguardar la presión sobre las tierras, propiedad de la Institución, es parte de los objetivos de las plantaciones de bambú en la zona, así como su potencial de proveer material para construcciones locales (tablilla vigas etc.). Estas plantaciones de bambú en el embalse Arenal, son de gran beneficio para la institución por el aporte de ya a la ampliación del área boscosa de su área de amortiguamiento.

Las plantaciones están ubicadas en pequeñas áreas desprovistas de bosque del área de amortiguamiento, en terrenos de mayor o menor tamaño, ubicados en las márgenes izquierda y derecha del embalse, administrados por el ICE. Se concluyó que se encuentran en estado de abandono y que debe instaurarse paralelamente, el manejo y aprovechamiento técnico del recurso bambú, establecido en terrenos institucionales. En aprovechamientos anteriores en el sitio del proyecto, donde las plantaciones de bambú estaban en condiciones de abandono no existía mucha información. El estado general de la plantación dificulta el aprovechamiento ya que presenta una gran número de culmos muertos y muriendo sin que puedan ser aprovechados, esto además de la cantidad de espinas producto de la falta de manejo dificultaron la corta y caída direccionada de los culmos. Es por ello que para ejecutar un aprovechamiento a estas plantaciones debe de realizarse primero una chapia donde se corten no solo las malezas sino también se poden las ramas bajas con espinas y además de ello se corten los culmos que no tienen posibilidad de ser industrializados de manera rolliza (estos son fuentes de biomasa para energía). Lo encontrado en el proyecto refleja fuertemente el problema a resolver, en términos del desuso que tienen estas plantaciones y del potencial para el deterioro de los rodales mismos, que a falta de manejo pueden convertirse en focos de problemas sanitarios e incluso focos de peligro de incendio.

El proyecto logro recuperar información importante de las existencias actuales de las plantaciones; adicionalmente evidenció la necesidad del manejo ya que de las 55 ha originales, solo quedan aproximadamente 23 ha con cobertura; de las cuales la gran mayoría presenta sobreacumulación y falta de manejo. El potencial energético para estas plantaciones es grande, si se entrase en un proceso de rehabilitación, cortando solo culmos maduros y respetando aun las áreas de protección. Es necesario que a pesar de esto, se tome la intervención en áreas de protección como podas de la macolla y no eliminación de cobertura, ya que la planta permanece. Modelos de manejo y biometría son presentados como información de divulgación, los cuales son aplicables a la especie.

Palabras clave: Bambú, Bioenergía, generación eléctrica, biomasa, modelaje de ecosistemas.

2. Introducción

Cambiar las prácticas de manejo forestal hacia la utilización de la biomasa más intensiva con fines energéticos afecta a la sostenibilidad de la gestión de recursos. A escala mundial, la producción de energía es una gran parte de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) con más del 25% de las emisiones totales (Rogner et al., 2007, Werhahn-Mees 2011). Con el fin de reducir las emisiones, se está poniendo cada vez más énfasis en el uso de energías renovables para sustituir a los combustibles fósiles. Las energías renovables a partir de biomasa, tienen un balance de CO₂ ventajoso, ya que el CO₂ atmosférico es secuestrado en la biomasa en desarrollo (Hall & Scrase, 1998). En 2009, las energías renovables representaron el 16% de todo el consumo mundial de energía primaria, y el 10% correspondió a la biomasa. Es así que el uso de biomasa forestal y de residuos agrícolas o animales como fuente de energía se está posicionando en una parte importante de las políticas de desarrollo sostenible para reducir la dependencia energética de los combustibles fósiles y de tal modo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Los sistemas forestales pueden afectar el clima de muchas maneras, tales como la sustitución de combustibles fósiles, la sustitución de materiales, y variaciones del carbono almacenado en la biomasa y el suelo. La eficacia de la sustitución de diferentes combustibles fósiles en diferentes sectores con la biomasa sólida puede variar ampliamente. Por ejemplo, el uso de la biomasa sólida en lugar de combustibles fósiles en una gran planta generadora reducirá las emisiones de GEI más que el uso de la biomasa como sustituto en combustibles para transporte. Una de las formas técnicamente viables para convertir la biomasa en combustibles es la gasificación, que consiste en la conversión de biomasa en un gas combustible a través de él la oxidación parcial a alta temperatura. La composición de este gas depende de varios factores tales como el tipo de biomasa utilizada en el proceso, la temperatura y el tipo de agente de gasificación (Galindo et al 2014). Para poder dar una viabilidad técnica a un uso de biomasa hay que necesariamente pensar en la capacidad de abastecimiento. Lo anterior lleva a pensar en cómo analizar los sistemas de energía biomásica en términos de sus impactos sobre el uso de la tierra, su comportamiento y almacenaje de carbono en los sistemas de manejo en los que se ha establecido y por establecer.

El bambú representa un recurso renovable y potencialmente utilizable como materia prima (bambú-culmos) para diferentes necesidades. La especie *Guadua angustifolia* es una especie forestal que se puede incluir en los proyectos de forestación o reforestación dentro de las actividades de mitigación y adaptación al cambio climático. El rápido crecimiento y desarrollo de la guadua le permite, aportar al suelo entre 2 y 4 ton de biomasa/ha/año, que constituye entre el 10% y el 14% de la totalidad de material vegetal que se genera en un guadual y que es importante, ya que contribuye a enriquecer y mejorar la textura y estructura del suelo (Giraldo, 2008). Sus productos cuando son empleados como elementos integrales de la construcción de viviendas se presentan como un material apropiado que aporta una solución tanto económica como estructural, al déficit habitacional que se vive en algunas regiones de Latinoamérica y el mundo (Camargo, 2012). Además de los usos constructivos, existe un gran potencial energético que no se ha considerado, y es por esta razón que el análisis de la biomasa,

su comportamiento y en especial su potencial calórico son necesarios de evaluar para poder ser considerada una opción de sustitución energética.

Este proyecto tiene como objetivos: i) Determinar la producción biomasa y crecimiento actual de las especies de bambú mediante el uso de modelos alométricos específicos para las especies seleccionadas, ii) Determinar el manejo silvicultural de especies seleccionadas para optimizar producción de acuerdo a objetivos de manejo, iii) Determinación del potencial de servicios ecosistémicos a través del estudio fisiológico de especies seleccionadas

3. Marco Teórico

En Latinoamérica, el bambú no es considerado de importancia para la economía local. Según Judziewicz *et al.* (1999), existen al menos 11 millones de hectáreas cubiertas con bambú en todo Latinoamérica, la mayoría en Suramérica. En Costa Rica hay un gran potencial para el desarrollo del bambú debido a las condiciones climatológicas y a la diversidad de bambú. Este recurso representa una oportunidad para complementar iniciativas de desarrollo sostenible para los productores rurales de Costa Rica (INBAR 1999, Morales 2002) teniéndose actualmente una producción de 110 900 culmos anuales aproximadamente concentrándose su producción mayoritariamente (70 000 aproximadamente) en el área de Pérez Zeledón. A pesar de esto, se considera que el bajo volumen de transacción de bambú comercial en Costa Rica no solo influye en la baja articulación de la cadena productiva y en la falta de interés de los actores por desarrollar una dinámica fluida en el mercado, sino que también resulta en elevados costos de transacción que disminuyen la competitividad de la cadena. Los principales costos de transacción son: información de mercado relacionada con las tendencias de la oferta y la demanda; tecnologías de producción y transformación; identificación de proveedores de servicios técnicos, empresariales y financieros; trámites relacionados con la transformación y comercialización de productos. El elemento clave para crear una cadena de valor del bambú en Costa Rica es ampliar y diversificar la demanda. Los principales factores para estimularla son: 1) una agenda concertada entre los actores claves de los diferentes eslabones; 2) el análisis y la solución de los cuellos de botella que causan divergencia entre la oferta y la demanda; 3); la identificación clara de la demanda actual y potencial por productos de bambú, tomando en cuenta las tendencias en la demanda nacional por muebles de madera; 4) la implementación de campañas de mercadeo para estimular la demanda en los segmentos actuales de mercado y en nuevos segmentos de mercado (p.ej. muebles de valor medio y alto) (Deras et al 2003). El ciclo y la intensidad del corte son los factores más importantes a considerar en el aprovechamiento de una macolla o gradual y en su conjunto se denominan el Régimen de Aprovechamiento. La explotación sistemática y regular aumenta la producción de culmos por efecto de estimulación de la regeneración natural y facilita la cosecha pues no hay crecimiento de vegetación asociada ni ramas laterales. Por el contrario la explotación excesiva y continua reduce la producción de culmos y conduce a la degeneración de la calidad de la mancha en cuanto a diámetros y número de individuos o a la extinción del cultivo. (Botero-Costés 2012.). Conocer el adecuado manejo, de acuerdo a los objetivos de producción, influye en el potencial de los bosques de bambú para la mitigación del cambio climático y en su capacidad como ecosistema para fijar y/o almacenar dióxido de carbono (Cruz 2009, Camargo et ál. 2007, Arias et ál. 2008, Riaño et ál. 2002) y por ende biomasa. Camargo y Kleinn (2010) han diseñado funciones que permiten hacer estimaciones de este potencial; asimismo, Arango (2011) ha evaluado la posibilidad de aplicar esquemas como REDD+ (reducciones de emisiones por deforestación y degradación). El contenido de CO₂ que puede fijar una

plantación (*Guadua angustifolia*) evaluada siete años después de establecida es de 76,6 Mg/ha ($\pm 39,6$), de las cuales el 83% está alojado en la biomasa aérea. Esta estimación se hace teniendo en cuenta la proporción de culmos en diferente estado de madurez y su biomasa asociada, como base para el cálculo de la densidad total de culmos por hectárea. Cuando se usa un valor de densidad total de culmos sin tener en cuenta el estado de madurez, se puede incurrir en una sobreestimación cercana al 27% en la plantación evaluada; o sea, 21 Mg/ha más de CO₂ debido a que se contabiliza el mismo número de culmos para todos los estados de madurez. Por lo anterior si se quieren hacer mejores estimaciones de biomasa, es necesario que en el inventario se tenga en cuenta el grado de madurez de los culmos en las macollas evaluadas y que la extrapolación a la hectárea se haga según la proporción de culmos en cada grado de madurez. Factores como el comportamiento de las variables y la juventud de la plantación –por lo que el crecimiento aún no ha culminado– reducen la posibilidad de usar modelos de regresión para la predicción del crecimiento. Las funciones de tipo exponencial fueron las más adecuadas; sin embargo, es probable que otro tipo de funciones con el tiempo sean más eficientes para mejorar la aproximación a la predicción de estas variables. Las plantaciones de guadua pueden funcionar como sumideros de CO₂. Los cambios en la capacidad de fijación dependen de la edad de la plantación, del crecimiento y de la madurez de los culmos. A mayor edad de la plantación, se tienen macollas con culmos de mayores dimensiones y, por lo tanto, con más biomasa. En este sentido, un espaciamiento inadecuado puede ir en detrimento de la capacidad de la plantación para fijar carbono. Las estimaciones de biomasa pueden variar considerablemente en función de la edad, el sitio y el manejo (Camargo 2012).

El siguiente paso lógico es consideraciones del uso de esta biomasa como bioenergía. Debido a sus bajos contenidos de contaminantes sulfúricos, la biomasa de especies de bambú puede ser transformada en energía calórica o gas sin efectos fuertes adversos al ambiente. Estudios muy recientes han determinado las propiedades químicas y físicas en términos de la calidad de biomasa como combustible de *Bambusa beecheyana* y *Dendrocalamus membranaceus*, y averiguar la mayor utilización para comunidades de productores en Tailandia, dando como principal resultado que las fibras con altos contenidos de humedad dan un valor calórico mucho menor, por lo que madurez de las mismas son necesarias; así también se encontraron diferencias entre especies (Haruthaithanasan et al 2014). El carbón a partir de los culmos del bambú ofrece una alternativa viable de energía; el concepto no es nuevo al tenerse en uso este material por cientos de años en Asia; y con nuevas tecnologías su rendimiento en aprovechamiento se ha incrementado (pellets, comprimidos, segmentos, chips, etc.). Lo interesante de esta opción actualmente es la información sobre las propiedades del material; ya que durante su pirolisis un 7% de gas es producido, el más importante dióxido de carbono, seguido por monóxido de carbono, metano, etileno e hidrogeno; la mezcla de gases puede ser usada directamente como combustible. Al final de la manufactura de carbón de bambú, el porcentaje de cenizas es de solo un 2 a 4%, dependiendo de la especie y el método de carbonización; con contenidos de calcio sílice, potasio, magnesio, sodio, hierro y manganeso, que pueden ser usadas en agricultura como fertilizante (Liese et al 2012).

En Costa Rica, el aumento de la demanda de energía eléctrica, así como la existencia limitada de recursos energéticos posibles de utilizar, han conducido a un aumento del costo de la electricidad y a una escasez progresiva de este recurso (Muñoz, 2007). Por ejemplo, los combustibles más caros para el funcionamiento de las calderas son el búnker, diésel, gas LP y cascarilla de arroz, residuos de palma aceitera y sus aguas residuales, así como residuos de diferentes granjas porcinas, entre otros tipos de biomasa utilizados para la generación de calor para proceso. En cuanto a los más económicos están el bagazo de caña (específicamente de los ingenios) y las astillas de madera respectivamente, en la zona de Guanacaste. El cambiar cualquier combustible (búnker, diésel, gas LP y cascarilla de arroz) por astillas de madera, implica usar mayor cantidad de volumen por día (ton/día); es decir se utilizarían más toneladas diarias de astillas que si se usaran los combustibles anteriormente mencionados. La demanda potencial actual de astillas de madera es de 282.20 ton/día, si las empresas cambiaran de combustible más las empresas que actualmente consumen astillas de madera (Ulloa 2014). Es imperativo entonces enlazar el

potencial de nuevas opciones energéticas ante un mundo cambiante, tomando mano de los recursos actuales y manejarlos para obtener optimización de su uso con información detallada y actual de su comportamiento biológico, potenciando su importancia económica.

4. Materiales y Métodos

4.1. Descripción del Sitio de Proyecto

El proyecto se ubicó en la zona del embalse del Arenal y en sus alrededores bajo administración del ICE,

4.1.1. Grupo meta de trabajo

Los grupos meta fueron: a) Dirección de Bienes Inmuebles (DBI) del ICE, b) el Programa de energías Alternativas y el Programa de Gestión Forestal (PGF), c) Vivero Tronadora ICE.

4.1.2. Mapeo de las zonas productoras de bambú así como la esquematización de su estado

El levantamiento de la información se realizó con sensores remotos (GPS), para actualización de las bases de datos de las zonas sembradas y su estado de manejo actual. Se elaboraron mapas detallados de las áreas tanto plantados como de las escogidas para establecimiento de rodales productivos futuros. Esto dio un control sobre la esquematización del estado productivo; caracterizando los distintos sitios con el uso del Atlas Digital de Costa Rica.

4.1.3 Calculo de la oferta productiva de biomasa

Una vez identificadas las áreas de las plantaciones con los mapas de ubicación y a través de una evaluación en campo por medio de un muestreo exploratorio o preliminar, se determinó la homogeneidad del área para definir el tipo de muestreo a establecer. El área de las parcelas dependió de las características del rodal. Se midieron las variables diámetro en centímetros (en medio del entrenudo correspondiente a 1, 30 metros de altura para no alterar la medición debido al engrosamiento de los nudos) y longitud total en metros de cada culmo. Se contabilizaron todos los culmos incluidos en parcelas de 100 m², determinando su grado de madurez según las categorías definidas por Camargo 2007, Cruz 2009 y basados en la clasificación taxonómica del proyecto actual de la VIE “Aplicación de técnicas silviculturales y desarrollo de modelos biométricos para la cuantificación del crecimiento y la capacidad de almacenamiento de carbono en plantaciones de Guadua (*Guadua angustifolia*) en la Zona Sur de Costa Rica”, de aquí en adelante mencionado como “Silvicultura de Guadua”.

4.1.4 Modelos validados de estimación de biomasa (modelo silvicultura bambú).

Basados en la elaboración de curvas de crecimiento y tasas de producción de biomasa en el proyecto “Silvicultura de Guadua”, se validaron modelos con nuevas bases de datos. Paralelamente se expandió el alcance de los modelos para incluir clases diamétricas que no alcancen dimensiones tal alta y clases diamétricas que no se incluyeran en el proyecto actual, para generar más curvas de ajuste basadas en las variables biométricas tomadas.

4.2. Plan de manejo para las especies seleccionadas.

El plan de manejo se divide en 2 partes; la primera es la intervención de sanidad y normalización (a realizarse) y la segunda es la aplicación del plan de manejo a generar para los predios existentes. Mediante el inventario se determinó el plan de rehabilitación de los predios productivos; los detalles del plan están expuestos en la tesis de Manuel Chavarría Vargas titulada: “Rehabilitación de plantaciones de bambú para la protección hidrológica en la cuenca del embalse Arenal, Costa Rica”.

4.2.1. Técnicas Silviculturales para normalización de estado productivo.

Dada la situación actual de los rodales, los culmos que no se cortan periódicamente los rizomas se vuelven improductivos, pero también los bambúes que se cortan periódica y totalmente pierden su vigor. En el caso de biomasa para energía los culmos removidos que se encuentren secos son también considerados como parte inicial de la producción, dejando el resto del rodal en capacidad e renovarse y crecer más

4.2.2. Paquete de técnicas silviculturales de manejo para rodales de bambú

Durante la ejecución de las cortas de sanidad y con la ayuda de los mapas generados y cálculo de la oferta productiva se desarrollará el plan de manejo de los predios en la primera fase del proyecto. El proyecto de “Silvicultura de Guadua”, aporta de manera importante los puntos a seguir, y aunque el mismo está orientado a *Guadua angustifolia*, existen puntos generales que deben ser tomados en el paquete silvicultural de toda especie. Para tal efecto se presentan las partes a considerar, basándose en ese proyecto y en lo citado por Castaño (2002):

4.2.3. Medición de efectos del manejo aplicado.

Adicionalmente al plan de rehabilitación se hizo un conteo 3 meses después de los rebrotes nuevos al aplicar los tratamientos de cosecha. Los datos están inmersos en las bases de datos dadas al ICE. Se registró, para así llevar un control de los distintos efectos en términos de crecimiento, sanidad y reclutamiento de culmos. Estas mediciones están en paralelo con las actividades del objetivo 1 dieron información constante para la elaboración de curvas de crecimiento.

4.3. Establecimiento de rodales productivos para fines dendroenergéticos.

Esta etapa consistió en el establecimiento de rodales productivos con fines bioenergéticos, de especies de bambú seleccionadas. Las especies sugeridas se basaron en la disponibilidad de material y características de crecimiento que pueden ser deseables en términos de la cantidad de biomasa a producir. Los rodales fueron establecidos en Setiembre 2016, y sufrieron inundaciones en el 2017. El diseño consistió en bloques completos al azar utilizando 3 densidades de plantación y 3 especies (*Guadua angustifolia*, *Bambusa multiplex*, *Phyllostachys aurea*).

4.3.1 Material a utilizar

El material a utilizar fue comprado a la empresa Bambutico. El paquete de establecimiento de viveros se refiere exclusivamente a los cuidados a tener en la producción de chusquines de bambú, ya que tanto el ICE cuentan ya con instalaciones de viveros forestales donde se puede producir perfectamente el material a plantar; por lo que no se plantea el establecimiento de viveros ni el presupuesto para ello. El ICE plantea el establecimiento de áreas productivas en el vivero Forestal ICE Tronadora (Nueva Tronadora, Tilarán), donde ofrece facilidades que conviene aprovechar para bajar costos.

4.3.2. Establecimiento de bloques experimentales y tratamientos

. En el proyecto se establecieron ensayos para optimizar la producción de biomasa de un número potencial de especies usando un rango aceptable de distanciamientos; probando tres especies (*Bambusa multiplex*, *Guadua angustifolia*, *Bambusa textilis*) y tres distanciamientos (3x3, 5x5, 7x7) en un diseño de bloques completos al azar, en tres bloques, con tratamientos de 20 m de lado (400 m²), estableciendo plántulas en los bordes del tratamiento.

4.3.3 Curvas de respuesta fotosintética

Para las curvas de respuesta fotosintética se pretendió hacer uso del equipo de intercambio de gases disponible en la Escuela de Ingeniería forestal del ITCR. Por defecto del mismo en marzo del 2016 no se pudieron hacer las curvas iniciales, por lo que se mandó el equipo a reparación. A la expectativa de tenerlo listo para su uso no se reprogramó el uso de otro equipo para esta fase. El equipo no llegó a tiempo para el fin del proyecto y esta tarea lamentablemente no se llevó a cabo. Al momento (ver estado del arte), no se ha medido el potencial de captura de CO₂ fijada por ninguna especie de bambú usando el CIRAS-2 de PPsystems®, según la literatura encontrada.

4.3.4 Pruebas de calorimetría.

A partir de tratamientos de cosecha (ver capítulo 1) se obtuvo material para las pruebas de calorimetría. Se procedió a secar en un horno solar una carga de las muestras de campo ubicado en la EIFO (CIF)... Las variables a medir fueron poder calorífico en kcal y en MJ/kg. Los valores obtenidos fueron combinados con la información del inventario para definir el potencial calórico del material a aprovechar alrededor del embalse Arenal (ver capítulo 1). El poder calórico fue determinado usando la prueba Parr de calorimetría de acuerdo a las Normas ASTM D-5865 standard (ASTM, 2004), con muestras de 2 g por muestra.

4.3.5 Mediciones de transpiración.

Se programó la instalación de sensores de flujo de savia para medición de transpiración. Los mismos son propiedad de la Escuela de Ingeniería Forestal del ITCR. El SFM1 es un paquete completo que contiene sensores de flujo de savia, registrador de datos, software de interfaz y batería interna que se puede cargar con un panel solar externo. Utilizando el método de la relación de calor (HRM, Heat Ratio Method) el medidor de flujo de savia es capaz de medir las tasas de alta, baja y flujo inverso. Las agujas HRM tienen dos puntos de medición radiales para la caracterización de los gradientes de flujo de savia radiales que hacen mediciones más precisas. Las sondas de HRM constan de tres agujas largas de 35 mm conectadas integralmente a un microprocesador de 16 bits. Las sondas superior e inferior contienen dos conjuntos de termistores de alta precisión emparejados y calibrados situados en 7,5 mm y 22,5 mm desde la punta de cada sonda. La tercera, situada en el centro de la aguja es un calentador de línea que recorre toda la longitud de la aguja para entregar un pulso uniforme y exacto de calor a través del material leñoso. Por las condiciones de campo, donde no se garantizaba la seguridad del equipo y por atrasos en la programación, dicha tarea no se realizó.

4.3.6 Estudios de erosión

La medición directa de los cambios en el nivel del suelo resulta adecuada cuando la erosión está localizada, los índices de erosión son elevados y la posición de la erosión es predecible, como en las tierras en pendientes deforestadas, o los pasos del ganado a través de los pastizales (Hudson 1997). En las parcelas

establecidas se utilizó el método de varillas de medición de erosión o el método de pines, como se conoce comúnmente. El método es muy utilizado y consiste en clavar en el suelo una varilla medidora de manera que en su parte superior se puedan "leer" los cambios en el nivel de la superficie del suelo. Conocidas con diversos nombres como postes, estacas y otros, las varillas pueden ser de madera, hierro o cualquier otro material que no se deteriore, que sea fácil de obtener y barato. En los bloques establecidos se instalaron los pines de erosión a favor de la pendiente. El número de pines se fijó a 4 pines por tratamiento.

5. Resultados

En el presente proyecto, se establecieron tres objetivos específicos, por lo que el informe presenta los resultados en base a esos componentes, adicionalmente se incluyen secciones de divulgación. A continuación se describen estos objetivos y la nominación de los componentes.

Cuadro 1. Componentes de Informe final proyecto “Innovación en desarrollo y manejo de plantaciones de plantaciones de bambú (*Guadua angustifolia* y otras) dentro del ámbito bioenergético y de servicios ambientales en cooperación la Red nacional de Electricidad”, en relación a sus objetivos específicos

Resultado	Objetivo específico en el proyecto.
1. Capítulo 1: Evaluación de la situación de las plantaciones del Embalse Arenal	Determinar la producción biomasa y crecimiento actual de las especies de bambú mediante el uso de modelos alométricos específicos para las especies seleccionadas
2. Capítulo 2: Plan y Manual de manejo.	Determinar el manejo silvicultural de especies seleccionadas para optimizar producción de acuerdo a objetivos de manejo.
3. Capítulo 3: Tasa de producción de biomasa de plantaciones	Determinar potencial de servicios ecosistémicos a través del estudio fisiológico de especies seleccionadas.
4. Capítulo 4: Transferencia de conocimientos	Describe divulgación del proyecto

Cada componente está referido a uno de los objetivos específicos del proyecto; dentro del mismo se presentan los resultados que pueden cubrir varias tareas y más de un objetivo en forma paralela. Evidencia de varias tareas están plasmadas también en una extensa documentación fotográfica. El alcance en divulgación fue adecuado

5.1. Capítulo 1: Evaluación de la situación de las plantaciones del Embalse Arenal

Este capítulo se desarrolló en 2 etapas. La primera es la presentación de un resumen en ponencia internacional del potencial de acumulación de carbono en estas plantaciones, y la segunda es una base de datos del inventario de las plantaciones alrededor del embalse y su resumen en gráficos y tablas útiles (anexos).

Resumen de ponencia, aceptación y presentación en congreso Internacional.

La siguiente ponencia internacional fue expuesta en WORLD BAMBOO WORKSHOP PERÚ 2018 del 21 al 25 de febrero del 2018, en Azpitia, Lima, Perú. (Información del taller: <https://www.worldbambooworkshop.com/>).



Design
Green

World Bamboo Workshop

Azpitia PERÚ 2018

En tal sentido, será de gran importancia que el Ing. ELEMER BRICEÑO ELIZONDO participe como **PONENTE** en el World Bamboo Workshop, a fin de exponer el **TEMA: "Potencial energético de Guadua angustifolia como alternativa de generación de energías limpias en Costa Rica. - Energy potential of Guadua angustifolia as an alternative for the of clean energy generation in Costa Rica"**.

La presente invitación como **PONENTE** incluye:

- Inscripción al evento **WORLD BAMBOO WORKSHOP PERÚ 2018** del 21 al 25 de febrero del 2018, en Azpitia, Lima, Peru.
- Materiales y herramientas, Equipo de seguridad
- Kit de Bienvenida, playera, gorra
- Certificado de Asistencia
- Almuerzo de despedida

No incluye: hospedaje ni traslados.

Aprovecho la oportunidad para presentar a nuestro Asistente Ejecutivo - Bach. Arq. Joseph Erribarren quien se encargará de realizar las coordinaciones correspondientes para la inscripción del invitado, al correo info@worldbambooworkshop.com y/o celular (051) 9346-52683.

A la espera de su gentil respuesta,

Atentamente,

Arq. TANIA CERRÓN OYAGUE
Directora General del Evento WBW Perú 2018
Embajadora Perú - World Bamboo Organization



info@worldbambooworkshop.com
www.worldbambooworkshop.com

“Potencial energético de *Guadua angustifolia* como alternativa de generación de energías limpias en Costa Rica. - Energy potential of *Guadua angustifolia* as an alternative for the of clean energy generation in Costa Rica”.

Elemer Briceño-Elizondo, PhD. (presenta)

Mario Guevara-Bonilla, MSc.

Edwin Esquivel Segura, PhD.

La matriz energética de Costa Rica depende en un alto porcentaje de la generación de energía hidroeléctrica; complementando su producción con otras fuentes de energías limpias como la eólica y solar. Aun así, los cambios generados por el cambio climático, pueden llegar a introducir un factor de riesgo que afecten las condiciones que influyen en el uso de estas fuentes, por lo que una diversificación de la matriz energética con otras opciones, sin recurrir a combustibles fósiles, es recomendable. El uso de biomasa seca se perfila como una fuente más que aporte al suministro de materia prima. De entre las distintas especies que se pueden utilizar, el bambú guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) se puede convertir en una opción viable, si se toman en cuenta su dinámica de crecimiento y potencial calórico. La presente investigación analizó el suministro potencial de las plantaciones de *G.angustifolia*, en los alrededores del Lago Arenal, provincias de Guanacaste y Alajuela, Costa Rica, donde se concentran **21,14 ha** productoras de la especie. El inventario de estas parcelas de bambú registra **34,73 ton/ha** de biomasa seca promedio de culmos en estado maduro, los cuales tienen potencial de cosecha. Del área total se examinaron 3 bloques para determinar el poder calórico del material tomando en cuenta variación en diámetro extrayendo una sub-muestra 9 culmos por bloque para 27 muestras en total. El potencial calórico medio fue de **16,74 MJ kg⁻¹ o 16745,75 MJ ton⁻¹**; lo cual significa tomando en cuenta la cantidad real disponible un potencial de **285 686 MJ totales**. Lo anterior ejemplifica el potencial que la especie tiene sí para la producción energética, la cual con un adecuado paquete de manejo se puede convertir en una fuente más de biomasa para generación eléctrica.

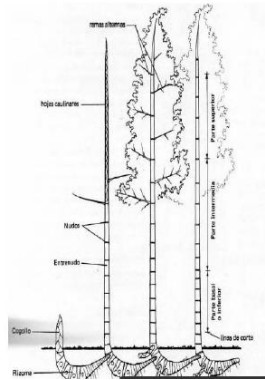
TEC | Tecnológico
de Costa Rica

“Potencial energético de *Guadua angustifolia* como alternativa de generación de energías limpias en Costa Rica.

- Energy potential of *Guadua angustifolia* as an alternative for the of clean energy generation in Costa Rica”

PhD. Elemer Briceño Elizondo. Profesor-Investigador.
ITCR





Elemer Briceño Elizondo, PhD.
Mario Guevara Bonilla, MSc.
Edwin Esquivel Segura, PhD.

- Contexto del proyecto/Context.
- Objetivos/Objective
- Sitio/site
- Inventario/Inventory
- Calorimetría/Calorimetry
- Resultados/Results.
- Conclusiones/Conclusions
- Aspectos Adicionales/Additional goals
- Saludos/Greetings



21/02/2018

66.7

[illegible]

OBJETIVO/Objective

- ❑ Determinar la cantidad de biomasa presente de *Guadua angustifolia* en el embalse arenal, lista para cosecha, y el poder calórico que representa para el Instituto Costarricense de Electricidad.

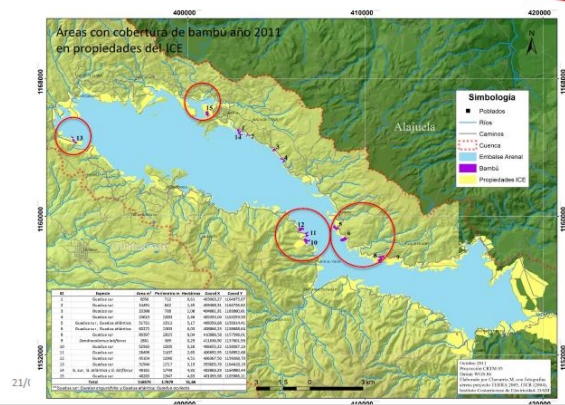


- ❑ To determine the quantity of biomass of *Guadua angustifolia* available at the Arenal reservoir, ready for harvest and its calorific value for the Costa Rican Electricity Institute (State Electricity Enterprise) .

21/02/2018

5

Sitio/Site: Embalse Arenal/Arenal Reservoir, Costa Rica



21/02/2018

6

Muestreo en Inventario/Inventory Sampling

BLOQUE/Block	ÁREA (ha)	%	Parcelas establecidas/Sampling plots	Área muestreada/sampled area (ha)
Bloque 5	3,71	17,6	7	0,07
Bloque 6	3,56	16,8	8	0,08
Bloque 8	2,00	9,5	5	0,05
Bloque 10	2,72	12,8	6	0,06
Bloque 11	0,64	3,0	3	0,03
Bloque 12	1,32	6,2	3	0,03
Bloque 13	2,47	11,7	4	0,04
Bloque 15	4,73	22,4	10	0,10
total	21,14	100	46	0,46



- ✓ Malla de puntos para muestreo al azar/Random Sampling using a point distribution net.

- ✓ 2%: intensidad de muestreo por bloque /block sampling intensity.

- ✓ Parcelas Circulares/ Circular plots: 100 m²

21/02/2018

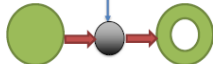
7

Cálculos de Biomasa/Biomass calculation

Variables de campo: Diámetro (cm), Altura (m), Estado de madurez (R, J, M, X), Estado de sanidad

Fuentes de Literatura/From Literature: Grosor de pared/ ring Width (CATIE 1990): 1,21 cm;
Densidad/Density: 670 Kg/m³

%bs: Porcentaje de biomasa seca/dry biomass percentage

$$BIOM_b^i = \frac{\pi}{2} \times (d/100)^2 \times H_i \times f f_g \times D_{kg} \times \%bs$$


21/02/2018

8

Cálculos de poder calórico/Calorific Value

Muestreo: 4 bloques, 3
tratamientos, 3 repeticiones por
tratamiento.

4 sitios/sites		20 METROS/meters	20 METROS/meters
H a b r i t a t i o n e s	Bloque de cosecha	Densidad de cosecha baja/ Low Harvest rate	Extracción de culmos secos/ Dry culm extraction
		Densidad de cosecha alta/ High harvest rate	Control

Sampling: 4
blocks, 3
treatments, 3
repetitions
per
treatment.

21/02/2018

9

Cálculos de poder calórico/Calorific Value



El poder calórico fue determinado usando la prueba Parr de calorimetría de acuerdo a las normas ASTM D-5865 standard (ASTM, 2004), con muestras de 2 g por muestra

Muestreo: 4 bloques, 3
tratamientos, 3 repeticiones por
tratamiento.



Sampling: 4
blocks, 3
treatments, 3
repetitions
per
treatment.



Calorific value was determined using Parr's calorific test according to the ASTM D-5865 standard (ASTM, 2004), using samples weighing 2 g each

10

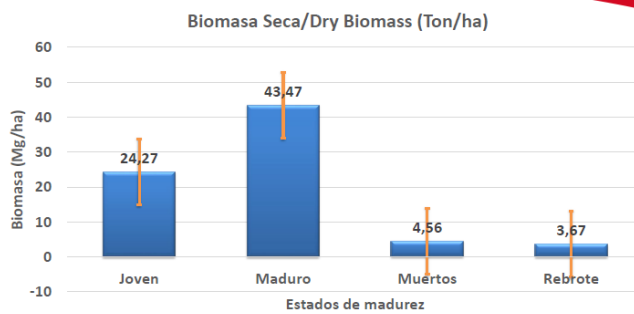
RESULTADOS/Results



21/02/2018

11

Biomasa presente en inventario por hectárea/ Biomass from Inventory per hectare



21/02/2018

12

Biomasa presente en inventario por hectárea/ Biomass from Inventory per hectare

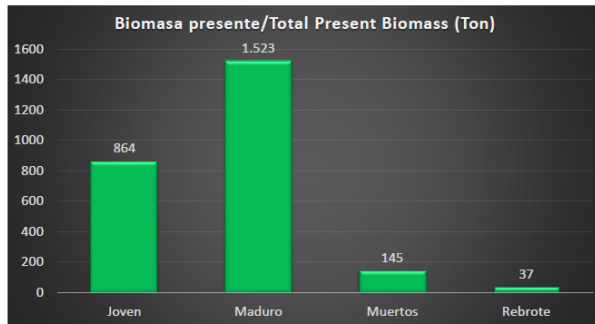
Bloques, datos biométricos y resultados del Inventario/Sites, bimoetric data and preliminary inventory results

Etiquetas de fila	Promedio de DAP (cm)	Suma de Biomasa verde(kg)	Suma de Biomasa seca(48%seco kg)	area muestreada (ha)	area de bloque (ha)	Biomasa seca (Ton/ha)
5	10,75	6721,79	3241,25	0,07	3,71	46,30
6	11,67	4064,76	1960,03	0,08	3,56	24,50
8	9,87	3858,91	1860,77	0,05	2,00	37,22
10	8,41	1804,84	870,29	0,06	2,72	14,50
11	7,72	2106,00	1015,51	0,03	0,64	33,85
12	8,86	3236,16	1560,48	0,03	1,32	52,02
13	5,79	539,83	260,31	0,04	2,47	6,51
15	11,42	13053,97	6294,63	0,10	4,73	62,95
Total general	9,85	35386,26	17063,26	0,46	21,14	277,84

21/02/2018

13

Biomasa total presente en bloques del embalse/
Total Biomass from Inventory from sites around reservoir



21/02/2018

14

Bloque / Block	Rep	Cp, cal/°C	Poder Calórico/Energy potencial (MJ/kg)	Poder Calórico/Energy potencial (MJ/ton)
10	1	4356,67	18,23	18229,16
10	2	4450,56	18,62	18621,14
10	3	4304,40	18,01	18009,61
10	4	4230,43	17,70	17700,12
10	5	4301,83	18,00	17998,86
10	6	4345,86	18,18	18183,06
10	7	4451,11	18,62	18623,44
10	8	4254,10	17,92	17924,60
10	9	4062,65	17,00	16995,12
11	1	4050,59	16,95	16947,67
11	2	4265,40	17,85	17846,42
11	3	4402,93	18,42	18421,84
11	4	4374,30	18,30	18302,06
11	5	4396,63	18,40	18395,50
11	6	4403,13	18,42	18422,71
11	7	4400,30	18,41	18410,86
11	8	4442,43	18,59	18587,14
11	9	4517,10	18,90	18899,54
12	1	4573,82	19,14	19136,84
12	2	4331,45	18,12	18122,79
12	3	4394,06	18,38	18384,75
12	4	4494,25	18,80	18803,93
12	5	4609,92	19,29	19287,92
12	6	4539,93	19,00	18995,06
12	7	4495,49	18,81	18809,15
12	8	4389,90	18,37	18367,33
12	9	4344,46	18,18	18177,29
15	1	4151,18	17,37	17368,55
15	2	3936,06	16,47	16468,49
15	3	3331,88	13,94	13940,59
15	4	4125,67	17,26	17261,80
15	5	4222,40	17,67	17666,51
15	6	3930,04	16,44	16443,28
15	7	4036,00	16,89	16894,99
15	8	4023,02	16,83	16832,33
15	9	4256,26	17,81	17808,20

Resultados del poder calorífico/
Calorific potential results.

Poder Calórico/
Energy potencial
(MJ/kg)

Poder Calórico/
Energy potencial
(MJ/ton)

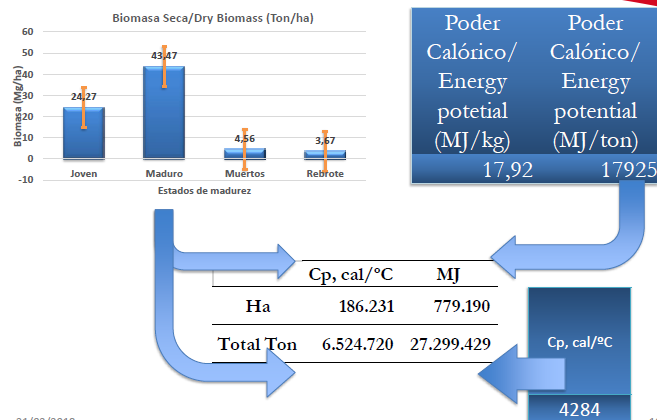
17,92 17925

Cp, cal/°C

4284

15

Relación entre existencias de inventario y pruebas de calorimetría/
Relation between inventory and calorimetry values.



21/02/2018

16

CONCLUSIONES/Conclusions

- La mayoría de los bloques alrededor del embalse están en estado maduro y listos a ser cosechados / Most of sites around the reservoir are ready for harvest.
- La cosecha debe ser planificada para mantener la sostenibilidad y sanidad del recurso / Harvest must be planned to maintain sustainability and health of the plantations.
- La cosecha debe venir de culmos maduros, que representan el 59 % de las existencias. Riped culms are the ones to be harvested, which represent the 59 % of the stock.
- Tal existencia generaría 186 231 Calorías o 779 190 MJ por hectárea, con un total de 6 524 720 calorías o 27 299 429 MJ totales de provenientes de los bloques de *Guadua angustifolia* / Such stock would generate 186 231 calories or 779 190 MJ per hectare, with a total of 6 524 720 calories or 27 299 429 MJ from *Guadua angustifolia* sites around the reservoir.



21/02/2018

TEC
Tecnológico
de Costa Rica

....Pero ¿que más hemos logrado?
What else is up??



21/02/2018

18



21/02/2018

Agradecimientos/ Acknowledgements

TEC | Tecnológico de Costa Rica

- Centro de Investigación en Innovación Forestal, ITCR
- Vicerrectoría de Investigación y Extensión Instituto Tecnológico de Costa Rica.



♦ **TODOS LOS PRESENTES EN EL TALLER..**

21/02/2018

20

5.2. Capítulo 2: Plan y Manual de manejo

Este capítulo se llevó a cabo a través de una tesis de licenciatura la cual se encuentra en las fases finales de redacción y defensa. La misma es una modalidad de graduación: proyecto de graduación, de la Universidad Nacional, Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar, Escuela de Ciencias Ambiental. La fecha de defensa no había sido definida para la presentación de este informe final. Aun así es una parte fundamental del mismo y el estudiante Manuel Chavarría Vargas está finalizando, junto con el tutor Elemer Briceño Elizondo, PhD. Los detalles finales de presentación para la defensa.



martes 12/6/2018 4:31 p. m.

Manuel Chavarria Vargas <manuelchav_25@hotmail.com>

Avance proyecto graduacion licenciatura Manuel Chavarria

Para Elemer Briceño Elizondo

Mensaje

INF-01 Propuesta 2017 Chavarria Vargas Manuel Ed.docx (6 MB)

Saludos estimado Elemer, por este medio adjunto avance del proyecto de graduación relacionado a la restauración de áreas con cobertura de *Guadua angustifolia* en Embalse Arenal. Continuaré analizando resultados y afinando la discusión de los mismos para el planteamiento de la propuesta. En color verde puedes leer lo que ya está redactado formalmente dentro del documento. El resto son aspectos a trabajar.

Manuel Chavarría Vargas

Esta tesis se denomina:

“Rehabilitación de plantaciones de bambú para la protección hidrológica en la cuenca del embalse Arenal, Costa Rica”

A continuación se presenta el trabajo a la fecha de Junio 2018.



Universidad Nacional
Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar
Escuela de Ciencias Ambientales

. “Licenciatura en ordenamiento y
restauración forestal ”

Presentado por:
Manuel Chavarría Vargas

Cédula 1-1400-0827

Heredia
2018

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

El Complejo Hidroeléctrico Arenal-Dengo-Sandillal (ARDESA), localizado en la zona norte de Costa Rica, constituye desde su construcción en los años 1950, uno de los proyectos de mayor relevancia a nivel nacional, desde el punto de vista energético y en el suministro de agua utilizada para riego en el Pacífico norte del país. La obra cuenta con una capacidad de generación energética de 363 410 kW, lo que permite abastecer cerca del 19,6% de la energía eléctrica del país (Fernández 1998 y Lara 2016).

Considerando la importancia de este proyecto para el país, desde su puesta en marcha, el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), organismo encargado de la creación y mantenimiento del Complejo, ha llevado a cabo acciones que buscan el manejo sostenible de la cuenca del embalse Arenal, sitio en donde se localiza el reservorio primario de agua para la producción energética de ARDESA.

El complejo Arenal cuenta con el embalse de mayor tamaño del país, con un espejo de agua que abarca aproximadamente 85 000 ha (DABI 2011). En los alrededores de éste, el ICE posee 3 077 ha, las cuales son monitoreadas por la Institución para el mantenimiento adecuado de sus funciones ecológicas y estructurales. Entre las acciones que el ICE ha implementado en estos terrenos se encuentra la reforestación de los linderos del embalse, la mejora de la infraestructura física en los alrededores, la promoción de actividades turísticas de bajo impacto y el apoyo a actividades de desarrollo productivo en la zona. Entre los beneficios que el ICE busca obtener a través de estas prácticas, destacan la prevención de la erosión y escorrentía de sedimentos hacia el embalse, como también salvaguardar la presión sobre las tierras, propiedad de la Institución (García 2005), aspectos que comprometen la generación de energía eléctrica de forma indirecta.

A pesar de que el ICE cuenta con programas de mantenimiento y revisión de las prácticas de manejo sostenible en tales sitios, se han identificado áreas que no han sido atendidas de forma pertinente debido a su complejidad estructural, comprometiendo por ende los beneficios directos e indirectos que el Instituto desea obtener. Se hace referencia en este punto a las áreas con cobertura de bambú (*Guadua angustifolia* y *Dendrocalamus latiflorus*), establecidas históricamente desde los años 1990 en propiedades aledañas al embalse Arenal.

Diferentes estudios realizados en la zona han permitido efectuar una evaluación preliminar del estado de dichas plantaciones de bambú, evidenciándose un estado estructural deficiente producto de la falta de mantenimiento en los rodales.

Se pretende generar una propuesta de rehabilitación que permita asegurar la continuidad de los beneficios ambientales brindados por los individuos de *Guadua angustifolia*, que a la vez sirva como base para la toma de decisiones por parte del ICE en busca del mantenimiento de dicha cobertura y además sea aporte importante a proyectos de investigación paralelos relacionados a la producción de biomasa para la generación de energía.

1.2. Antecedentes

Para el año 1989 la Unidad Ejecutora del Proyecto Nacional del Bambú (UEPNB) y la Fundación del Bambú (FUNBAMBU), en conjunto con el ICE, establecieron plantaciones de bambú en terrenos institucionales localizados en la cuenca Arenal con dos objetivos fundamentales: proporcionar materia prima para la construcción de viviendas y la ampliación del anillo boscoso del área de amortiguamiento del embalse como método de protección natural así como resguardo ante actividades humanas que pudieran afectar el desarrollo del proyecto hidroeléctrico (García 2005 e ICE 1998).

A pesar de contar con un objetivo y planificación previa para estas áreas, debido a que FUNBAMBU existió hasta el año 1999 (Schroder 2011), el objetivo de producción de material para construcción no pudo ser cumplido, por lo cual los bloques se dejaron intactos, cumpliendo únicamente los objetivos de protección.

Entre los años 2005 y 2006 se retomó el interés en los sectores aledaños al embalse Arenal, al darse un proceso de investigación para la industrialización del bambú, generando información valiosa en torno al proceso industrial; a pesar de que la labor de aprovechamiento no se dio. Entre la información generada,

Trejos y Serrano (2007) dieron muestras de la degradación en que se encontraban los bloques debido a la falta de manejo aplicado.

Para el año 2011 se realizó una delimitación geográfica de los sitios con presencia de bambú en la zona de estudio, comparándose el resultado con un levantamiento geográfico previo realizado durante el 2004. Los resultados reflejaron una pérdida de área bajo cobertura de bambú de 9,82 ha, pasando de 61,48 a 51,66 ha, atribuibles principalmente a agentes externos (incendios, pastoreo y exceso de viento), además de la falta de mantenimiento (Chavarría 2011).

Como parte del mismo estudio, se determinaron resultados preliminares en un sitio plantado con *Dendrocalamus latiflorus*, mostrando que del total de individuos muestreados, el 46% se encontraban en un estado de crecimiento maduro, mientras el 20% de los individuos se encontraba muerto en pie. Como parte de la discusión de resultados de dicho estudio, se determinó que tales porcentajes podrían comprometer la permanencia de las cepas a través del tiempo (Chavarría 2011).

Se pretende que los estudios referenciados anteriormente sirvan de base para el establecimiento de una propuesta que permita rehabilitar a corto plazo las áreas bajo cobertura de bambú. Es de vital importancia para el ICE asegurar los beneficios ambientales proveídos por esta cobertura forestal en torno al funcionamiento del complejo hidroeléctrico ARDESA.

2. JUSTIFICACIÓN, PROBLEMA Y OBJETIVOS

Diversos análisis se han realizado en torno al embalse Arenal, detectando como uno de los principales problemas ambientales la erosión por la influencia del viento y del agua. Esto provoca una degradación de los suelos e induce el arrastre de sedimentos al embalse, incrementando los costos de mantenimiento de las plantas hidroeléctricas asociadas y disminuyendo la vida útil de los equipos y embalse (Araya 2005, Robledo 2003).

Considerando que la ausencia de una cubierta vegetal que proteja al suelo facilita el desprendimiento de sus partículas y ocasiona la pérdida de las capas superficiales (Gómez 2002), resulta de gran importancia asegurar la incorporación de nueva materia vegetal y la permanencia de la cobertura existente a través del tiempo en las áreas objeto de estudio.

Por medio de la ejecución de diferentes mediciones en el área de estudio se han determinado conclusiones acerca del estado estructural del bambú. Desde el año 2004 hasta el 2011 se perdieron cerca de 10 ha de cobertura de bambú debido a la falta de manejo y desastres naturales, pasando de 61,5 a 51,6 ha (Chavarría 2011). Específicamente, en un muestreo piloto ejecutado en un bloque de *Dendrocalamus latiflorus* (de 2881 m²) de 23 años de edad, se determinó que el 20% de los culmos o individuos se encontraban muertos (2123 culmos/ha) y el 46% en un estado de crecimiento maduro (5013 culmos/ha) lo cual compromete la continuidad de los individuos. De acuerdo a la fisiología de la especie, las cepas necesitan más del 80% de los culmos vivos y porcentajes entre el 30 y 40% de población madura para mantener un rizoma en pleno vigor, permitiendo el apoyo a los nuevos culmos (Castaño y Moreno 2004, Montiel 1998).

Por otro lado, para los sitios con presencia de *Guadua angustifolia* (más del 95% del área total con cobertura de bambú), por medio de un estudio preliminar realizado durante los años 2012 y 2013 se determinó que el 45% de los individuos se clasifican en una etapa de crecimiento maduro, mientras que cerca del 25% se encuentra muerto en pie. Asimismo se detectó que únicamente el 8% de los individuos se encuentra en las categorías de brote y juvenil, por lo que ese puede ser un claro indicador de la baja regeneración de la especie en los sitios (Ortiz *et al.* 2014).

Castañero y Moreno (2004) plantean que para lograr el crecimiento pleno de una cepa de bambú, se debe lograr un equilibrio con la cantidad de ejes maduros, lo cual se logra a través de un programa de mantenimiento. Esto permite mantener un rizoma en pleno vigor. Se presume que la falta de mantenimiento provoca condiciones de maduración de la cepa, comprometiendo la permanencia del rodal a través del tiempo. Esto anularía los beneficios asociados a la presencia de esta cobertura, tales como el control de la erosión, la fijación de carbono, regulación hídrica, entre otras.

Pese a que se presume que la presencia del bambú ha resultado históricamente beneficiosa en la protección del suelo, gracias a su sistema radicular entretelado, los datos referenciados anteriormente prevén que las cepas de bambú han llegado a un punto de degradación interna, poniendo en peligro la permanencia de los rodales y por ende la continuidad en la protección del suelo (Chavarría 2011). Asimismo las condiciones indicadas provocan una fijación de carbono deficiente, e incluso se podría esperar una emisión de CO₂ producto de la pérdida de material en contraposición con la baja regeneración.

La elaboración de un plan que contemple la recuperación de la cubierta vegetal, protección y mejora de la cubierta existente resulta indispensable para la conservación y recuperación de la estabilidad y fertilidad de los suelos, la regulación de escorrentías, contención de sedimentos, fijación de carbono y continuidad en los beneficios del área como corredor biológico.

Con la aplicación de este plan, se espera que el Instituto Costarricense de Electricidad se beneficie directamente, al mantener de forma adecuada las áreas con cobertura de bambú, disminuyendo en efecto la cantidad de sedimentos y el impacto de los mismos en las plantas hidroeléctricas asociadas, aumentando la vida útil de los equipos y embalse. Asimismo se pretende continuar generando la mayor cantidad de beneficios ambientales paralelos, tales como la captura de carbono, la regulación hídrica y como corredor biológico.

Adicionalmente, se espera que esta propuesta sirva como base para la toma de decisiones dentro del proyecto desarrollado por el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) en conjunto con el ICE, el cual pretende valorar la generación potencial de biomasa de estos rodales para un proyecto de generación de energía eléctrica.

2.1. Objetivos

2.1.1. General:

Diseñar una estrategia de rehabilitación de las plantaciones de bambú (*Guadua angustifolia*) para la mejora de las condiciones de protección hidrológica en las áreas aledañas al embalse Arenal.

2.1.2. Específicos:

- Evaluar el estado actual de las plantaciones de bambú *Guadua angustifolia* para la determinación de un tratamiento silvicultural adecuado que optimice los beneficios ambientales asociados.
- Analizar las experiencias previas de manejo de plantaciones de bambú para la definición de un modelo de rehabilitación de la cobertura en el área de estudio.

- Proponer un plan de manejo para la rehabilitación de las plantaciones de bambú *Guadua angustifolia*.

3. MARCO CONCEPTUAL

Se detallan a continuación una serie de conceptos técnicos utilizados como base para la propuesta del proyecto. Los mismos han sido separados en dos grandes categorías: información relativa a la restauración y rehabilitación forestal e información relacionada con la especie bambú, incluyendo sus características así como experiencias relacionadas con el manejo.

3.1. Restauración y rehabilitación de paisajes forestales

La restauración de paisajes forestales, en forma general, surge de la necesidad de establecer una cobertura vegetal, buscando recuperar en cierta parte los beneficios otorgados por los ecosistemas originales (irrecuperables a corto plazo debido a las acciones humanas) (Maglianesi 2010). A nivel conceptual, Aldritch *et al.* (2004) indican que la restauración de los paisajes forestales se centra en el restablecimiento de las funciones y procesos clave de los ecosistemas en la totalidad de paisaje, en vez de en restaurar lugares de manera individual. Como tal, se dirige a un mosaico de usos del suelo, incluyendo tierras agrícolas y tipos de bosques, que pueden incluir desde plantaciones a bosques naturales, con el objetivo de obtener una mezcla equilibrada entre protección, manejo y restauración que proporcione biodiversidad, así como beneficios ecológicos, económicos y sociales y de resistencia a los cambios perjudiciales.

Por otro lado, la rehabilitación es la silvicultura aplicada para restaurar las características deseadas de los sitios degradados debido a la mala gestión del pasado. La restauración de algunos aspectos de la composición o estructura forestal puede ser inherente a la rehabilitación, pero el resultado está determinado por los objetivos del terrateniente en lugar de una condición ecológica de base (Kenefic *et al.* 2014).

Si bien la restauración y la rehabilitación de paisajes forestales se encuentran estrechamente relacionadas, se puede hacer una distinción conceptual entre ellas. De acuerdo a las definiciones anteriores se resalta que la restauración constituye una estrategia integral de recuperación de las condiciones originales de un ecosistema, mientras que la rehabilitación se fundamenta en la recuperación de ciertas condiciones específicas deseables, tomando como base estrategias silviculturales (Kollert 2014). En el contexto de este estudio, se proponen prácticas de rehabilitación para sitios con cobertura degradada en vigor, calidad, composición y valor debido a la ausencia de manejo a través del tiempo, aspectos que ponen en riesgo la protección hidrológica provista por dicha cobertura.

3.2. Generalidades de la especie bambú

La subfamilia Bambusoideae cuenta con más de mil doscientas especies y 70 géneros. En Costa Rica se presenta un total de 15 géneros y 53 especies (Montiel 1998). Los bambúes son plantas maderables o herbáceas que crecen en asociaciones con árboles o arbustos, usualmente en selvas de clima cálido, en bosques mesofítico caducifolio y xerofítico de Asia, así como en los bosques tropicales lluviosos (Montiel 1998). Es importante señalar que aunque muchas veces se le percibe como un árbol maderable, esta planta en realidad es una hierba, que con sus altas tasas de crecimiento manifiesta muchas ventajas para su producción y aprovechamiento.

En Costa Rica ha sido uno de los cultivos que ha recibido menos atención por los agricultores e investigadores, considerándosele una planta silvestre ubicada cerca de los riachuelos o en las zonas altas, separada de la economía agrícola y forestal. Se ha comprobado que la escasa atención se asocia con el poco conocimiento existente sobre sus potencialidades económicas (Montiel 1998).

3.3. Características botánicas de la planta

El bambú posee cuatro estructuras principales: rizoma, culmo, ramas y hojas (Montiel 1998).

3.3.1. Rizoma

Se denomina rizoma a las raíces, o sea, la parte subterránea de la planta, el cual le da anclaje, almacena nutrientes y constituye el fundamento estructural de la planta: además de que se utiliza como “semilla” para la reproducción asexual.

Según la ramificación del rizoma, se manejan dos términos:

Paquimórfico o simpodial: Los rizomas paquimórficos son fusiformes, cortos, gruesos, sólidos y promueven el crecimiento de los culmos en grupos o cepas aglutinadas (macollas) (Figura 2).

Según (Qisheng *et al.* 2003) dentro de esta categoría se tienen dos subtipos de rizomas:

- Paquimórfico entrelazado: llamados también rizomas aglutinados, tienen yemas axilares en la base del tallo que desarrollan directamente en los brotes y luego se convierten en nuevos tallos (figura 2 a).
- Paquimórfico disperso: presentan peciolos más largos, que forman rizomas falsos. Estos se pueden extender fácilmente en distancias de 50 a 100 cm. Por esta razón los nuevos culmos crecen en un patrón desagrupado (figura 2 b). El género *Guadua* es un ejemplo de este comportamiento.

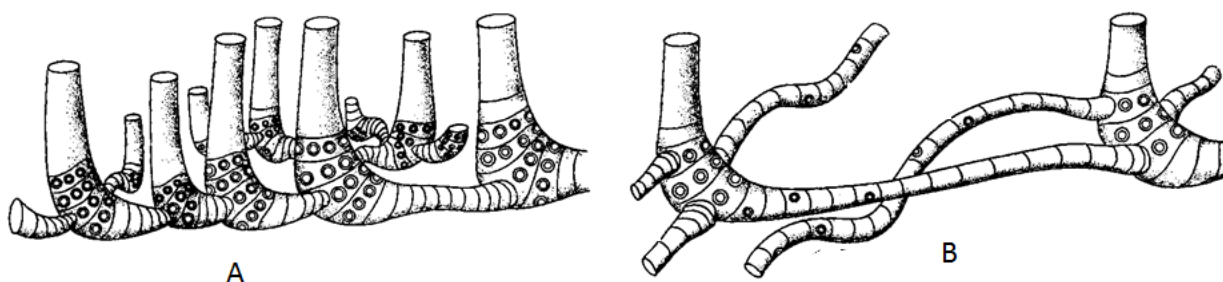


Figura 2. Tipos de rizoma paquimórfico. A. Comportamiento paquimórfico entrelazado B. Comportamiento paquimórfico disperso (Kochbar 1998).

Leptomórfico o monopodial: Los leptomórficos son rizomas largos y delgados y raramente sólidos. Su crecimiento promueve cepas abiertas o culmos aislados (figura 3 C).

Unas pocas especies presentan una mezcla de los dos tipos de rizomas (paquimórfico y leptomórfico) y son denominados anfipodiales (figura 3 D).

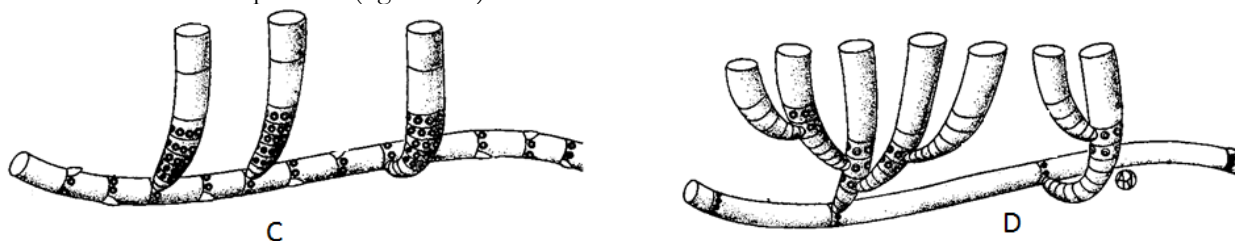


Figura 3. C. Rizoma leptomórfico D. Rizoma anfipodial (Kochbar 1998).

3.3.2. Culmos

Se denomina con este nombre a los tallos o cañas de los bambúes, que se desarrollan a partir de la yema del rizoma y emergen a la superficie con el mismo diámetro que tendrá en la época de maduración. No tienen madera verdadera que crece en grosor, sino que este y la dureza está dados por la acumulación de sílice, lignina, celulosa y hemicelulosa. Los culmos son cilíndricos con entrenudos huecos (en algunas especies, estos entrenudos son sólidos).

3.3.3. Ramas y hojas

Cuanto mayor sea el número de ramas y hojas, el culmo será más fuerte y el crecimiento y desarrollo más rápido, puesto que es mayor el proceso fotosintético. Las hojas son pecioladas y generalmente son renovadas por la planta cada dos años.

3.3.4. Floración

La duración del estado vegetativo y la incidencia de la floración y fructificación varían de una especie a otra y se consideran eventos impredecibles y circunstanciales. Este florecimiento esporádico y sincrónico del bambú se da a muchos años de intervalo y es casi imposible de predecir para una determinada especie.

3.4. Caracterización de la especie objeto de estudio

3.4.1. *Guadua angustifolia*

La *Guadua* constituye el género de bambú más importante de América, endémico de este continente y formado por unas 30 especies. Se distribuye en estado natural desde Ecuador a Venezuela y entre los 0 a los 2000 m sobre el nivel del mar. El desarrollo óptimo de las plantas se alcanza entre los 500 y 1500 msnm, con temperaturas de 17° a 26°, precipitaciones de 1200 a 2500 mm/año y suelos con fertilidad moderada y buen drenaje, características de la región central de los Andes, en el sur del continente americano (Londoño 2002)

La especie en general presenta rizomas con crecimiento paquimórfico disperso, con culmos alcanzando los 20 m de alto y 20 cm de diámetro en la base cuando se tienen las condiciones óptimas para su crecimiento (Young y Judd 1992). Dadas sus propiedades, la especie ha sido seleccionada como uno de los veinte tipos de bambú mejores del mundo para actividades humanas, por su capacidad de absorber energía y admitir una mayor flexión, convirtiéndola en un material ideal para construcciones sísmo resistentes (Dávila 2012).

Es difícil determinar el origen preciso de las especies y variaciones de *Guadua* presentes en Costa Rica. Se sospecha que algunas fueron importadas directamente de Colombia, Brasil y Perú. Es muy probable que se introdujeran a Costa Rica variaciones morfológicas particulares, conocidas localmente como "cebolla" en Colombia; "atlántica" o "brava" en Costa Rica y Colombia, y "mansa" o "sur" en Colombia y Costa Rica (McClure 1966 citado por Montiel *et al.* 2006).

Particularmente dentro de nuestro país, la *guadua* fue diseminada extensivamente en la década comprendida entre los años ochenta y noventa, en plantaciones industriales por el Proyecto Nacional de Bambú (PNB) y la Fundación del Bambú (FUNBAMBU). Los principales lugares en donde se sembró la *guadua* incluyeron: Estación Experimental Los Diamantes en Guápiles, alrededores del Embalse Arenal, Golfito y Quepos (García 2005).

En nuestro país el crecimiento diamétrico promedio de los culmos se encuentra entre 6 y 12 centímetros (García 2005). Montiel *et al.* 2006 brinda en su publicación las siguientes características según variedad específica de *Guadua angustifolia*:

- **Variación "sur":** culmos delgados y sin yemas en el tercio central del culmo; altura de los culmos 18-220 m; diámetro 12.55 cm; largo del entrenudo 20 cm (figura 4.B).
- **Variación "atlántica":** culmos gruesos con yemas en los tercios superior e inferior; altura de los culmos 20-225 m; diámetro 15 cm; largo del entrenudo 25 cm (figura 4.A).
- **Variación "cebolla":** culmos más gruesos que los anteriores, un poco deformes, con yemas sólo en el tercio inferior; altura de los culmos de 25 m o más; diámetro de hasta 20 cm; largo del entrenudo 12 cm.

Las tres variaciones presentan en los nudos inferiores, yemas que producen ramas con múltiples espinas.



Figura 4. A. *Guadua angustifolia* (variedad atlántica) B. *Guadua angustifolia* (variedad sur).

3.5. Beneficios ambientales de la presencia del bambú

A continuación se hace una recopilación literaria de los beneficios ambientales de la presencia del bambú como cobertura, enfocada en los siguientes aspectos: control de la erosión y estabilización del suelo, generación de biomasa, fijación de carbono y regulación de agua.

3.5.1. El sistema vegetal como controlador natural de la erosión: caso del bambú

Guijarro *et al.* (2004) define la erosión como una pérdida gradual por disgregación, arranque y transporte del material que constituye el suelo, a medida que las partículas se van depositando en superficie. Su efecto se observa en el mismo escenario y fuera de él. Los factores que determinan la tasa de erosión son la lluvia, la escorrentía, el viento, el suelo, la pendiente, la cobertura vegetal y la presencia o ausencia de medidas de conservación.

Entre los sistemas más comunes de control de erosión utilizados destaca la siembra de plantas, sistema que representa el menor costo directo de instalación en comparación a otros utilizados (Fernández 2011). Suárez (2001) señala que la cobertura vegetal densa suministra virtualmente una protección completa al suelo contra la erosión. El follaje impide la erosión por la lluvia y demora la escorrentía, disminuyendo las velocidades y caudales. La acumulación de residuos vegetales forma un colchón protector muy

eficiente. La remoción de la cobertura vegetal expone el suelo a la acción de la lluvia, la escorrentía superficial y el viento, facilitando la erosión. La vegetación es multifuncional, relativamente económica, se auto repara y es visualmente atractiva.

Suárez (2001) señala que la forma como la vegetación ayuda en el control de la erosión incluye diversos factores tales como: efectos hidrológicos (intercepción de gotas de lluvia, evapotranspiración, retención de agua, aumento de infiltración), efectos hidráulicos (disminución de la velocidad del caudal) y efectos de refuerzo del suelo (formación de redes de tejidos que refuerzan la masa de suelo superficial).

La presencia del bambú resulta beneficiosa en el cumplimiento de este objetivo, gracias a que su sistema radicular entretelado (fibroso) y la gran cantidad de rizomas que posee, contribuyen eficientemente a conservar y recuperar el suelo, pues debajo de la tierra la planta forma un complejo sistema de redes que amarra fuertemente el suelo, evitando sobre todo la erosión en las laderas (Carmirol 2009).

3.5.2. Generación de biomasa

Se entiende por biomasa a la fracción biodegradable de productos, deshechos y residuos de la agricultura (incluyendo substancias vegetales y animales), silvicultura e industrias relacionadas, así como la fracción biodegradable de los residuos municipales e industriales (Cerdá 2013).

Existen diversas fuentes de generación de biomasa, entre las que destaca la biomasa forestal, siendo ésta la procedente de prácticas silvícolas (selección de brotes y cortas sanitarias) y la que se aprovecha de los restos de madera (ramas y cortezas y tocones o raíces). Una ventaja con la que cuenta la biomasa forestal proveniente de los cultivos es la predictibilidad de su disposición y la concentración espacial de la biomasa, asegurando el suministro a lo largo del tiempo (ENCE 2010).

La biomasa era la fuente energética más importante para la humanidad hasta el inicio de la revolución industrial, pero su uso fue disminuyendo al ser sustituido por el uso masivo de combustibles fósiles (Endesa Educa 2014). Actualmente se busca recuperar el uso de la biomasa como fuente alterna para la generación de energía, debido a la problemática actual por el calentamiento global influenciado en gran parte por el uso de hidrocarburos en el mundo.

Según ENCE (2010) la producción de energía mediante el uso de la biomasa forestal presenta tres grandes ventajas que la hacen única respecto a otras energías renovables:

1. Es la fuente renovable más beneficiosa para el medio ambiente y multiplica la reducción de emisiones frente a los combustibles fósiles.
2. Dado que se puede cultivar y potenciar su desarrollo productivo, es la fuente renovable que más empleo genera por unidad de energía producida y su cultivo permite la creación de riqueza y cohesión social, especialmente en ámbitos y zonas rurales degradadas, proporcionando así una alternativa al empleo agrícola.
3. Es la fuente renovable más estable de todas, capaz de producir energía las 24 horas del día: no depende de que haga viento, luzca el sol o fluya el agua, es más barata de producir.

Particularmente para el caso del bambú, según un estudio realizado en el Centro Nacional para el estudio de Guadua, el rápido crecimiento de la especie permite producir y aportar al suelo entre 2 a 4 ton/ha/año de biomasa (la cual constituye entre el 10 al 14% de la totalidad de material vegetal generado en un guadual). La importancia de la biomasa remanente en los rodales está en que contribuye a enriquecer y mejorar la textura y estructura del suelo (Sepúlveda *et al.* 2004, Betancourt *et al.* 2009).

3.5.3. Fijación de carbono

Desde años recientes, a nivel mundial, se han promovido investigaciones para determinar el potencial del bambú en el secuestro de carbono, debido principalmente a las altas tasas de crecimiento de la especie (Londoño 2001). Resultados preliminares demuestran que es capaz de alcanzar volúmenes de biomasa hasta dos veces más que árboles de rápido crecimiento y en la mitad del tiempo (Deras 2003).

Pese a esto, en el ámbito nacional, existen pocos estudios acerca de la fijación de carbono en plantaciones establecidas con bambú. Por lo tanto la información recopilada sobre este tema se remite a otros sitios,

los cuales presentan características climáticas diferentes causando tasas y comportamientos de crecimiento distintos.

Un estudio realizado en China, en bosques de *Dendrocalamus latiflorus*, determinó una fijación total de 39,19 Mg/ha (sin hacer mención del estado o edad aproximada del área) tomando en cuenta raíz, ramas, hojas y tallo (Maoyi 2007).

Mendoza *et al.* (2005) reportan para plantaciones de *Bambusa oldhamii* con 7 años de edad, en Veracruz (México), una fijación de carbono de 51,9 Mg/ha, considerando hojas, ramas y tallo.

Ríos (2009) reportó una acumulación total de carbono de 149,9 Mg/ha, en una plantación de *Guadua angustifolia* de 7 años de edad, establecida con un distanciamiento de 6 x 6 m, en Colombia.

3.5.4. Regulación de agua

Esta particularidad del bambú es uno de los aportes más valiosos, pues funciona como una bomba de almacenamiento de agua, cuyo funcionamiento es el principio de los vasos comunicantes donde en épocas húmedas absorbe importantes volúmenes de agua que almacena tanto en su sistema rizomático como en el tallo. En época de verano cuando se percibe la necesidad de agua en el suelo, la que se encuentra almacenada en la planta es aportada de manera paulatina al mismo (en forma de esponja) (Betancourt *et al.* 2009).

3.6. Requerimientos ecológicos de *Guadua angustifolia*

De acuerdo a Moreira (2010), para lograr el pleno crecimiento y desarrollo de la guadua se requiere contar con la presencia de condiciones ecológicas adecuadas, las cuales se enumeran a continuación:

- a) Temperatura: el rango óptimo para el desarrollo de la especie oscila entre los 20° y 26° C. A menor temperatura el desarrollo vegetativo de las plantas es afectado, reduciendo el diámetro y altura del tallo.
- b) Altitud: comúnmente prospera a altitudes que no superan los 2000 msnm, siendo la altura optima la comprendida entre los 800 y 1600 msnm.
- c) Precipitación: los requerimientos de lluvia son superiores a los 1200 mm anuales, siendo el rango óptimo el comprendido entre los 2000 y los 2500 mm por año.
- d) Humedad relativa: se ha determinado históricamente que este factor es sumamente relevante para el desarrollo adecuado de la especie. La misma es favorecida por una humedad que es comprendida entre el 75 y 85%.
- e) Suelo: las características físicas que favorecen el desarrollo de la planta son las de suelo franco, franco-limoso y franco arenoso, con texturas gruesas y medias, con buen drenaje y capacidad para conservar la humedad sin llegar a anegarse. Los suelos arcillosos o pesados no son los mejores para el desarrollo de la planta. Se desarrolla adecuadamente en suelos con pH ligeramente ácido, entre valores de 5,5 y 6.

3.7. Bases de manejo silvicultural y aprovechamiento del bambú

En los rodales de guadua, el proceso de sucesión se considera como progresivo cuando su manejo demuestra un equilibrio estructural. Caso contrario sucede cuando se produce alguna alteración o deterioro en su estructura, producto de una intervención natural o artificial, caso considerado como sucesión regresiva que puede ocasionar su completa desaparición (Dávila, XXX).

Entre las causas que provocan la sucesión regresiva del gradual se encuentra la ausencia de manejo, ya que, si no se los aprovechan tienden a degradarse por exceso de individuos, lo cual disminuye la actividad biológica y dinámica del gradual. Por lo tanto, los graduales deben ser intervenidos periódicamente para regular el espacio vital de sus individuos y favorecer una mayor aparición de rebrotes o renuevos que aseguran el mantenimiento del rodal a través del tiempo (Dávila 2014).

4. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS APLICADAS

4.1. AREA DE ESTUDIO

Se definen como límites físicos del estudio los sitios bajo cobertura de *Guadua angustifolia* ubicados a lo largo de la zona de amortiguamiento del embalse Arenal en propiedades del Instituto Costarricense de Electricidad.

Geográficamente, el área de estudio se ubica en las provincias de Alajuela (cantón de San Carlos) y Guanacaste (Tilarán), Costa Rica. Presenta zonas de vida de bosque húmedo a muy húmedo premontano con una precipitación media anual entre 3500 a 5000 mm, elevación promedio de 600 msnm, suelos inceptisoles en la mayor parte del área, con pendientes entre 0 y 5% (ITCR 2008).

Para la determinación del área bajo cobertura de *Guadua angustifolia* se utilizaron datos geográficos generados con un levantamiento realizado en el año 2011, en donde se llevó a cabo un levantamiento perimetral y toma de puntos de control con un GPS Garmin 60 csx, fotointerpretación de imágenes satelitales Google Earth del año 2010 y ortofotos del proyecto TERRA 2005, validando la información por medio de visitas de campo (Chavarría 2011). Adicionalmente se corroboró la información por medio de la utilización de imágenes satelitales Google Earth del año 2016 así como visitas de campo realizadas en el periodo 2016 para evaluar posibles variaciones en el área bajo cobertura. La información recolectada se incorporó dentro de un Sistema de Información Geográfica, determinando el área de cada bloque expresado en hectáreas y representado la información en mapas de ubicación (cuadro 1 y figura 1).

Cuadro 1. Área total (ha) de los bloques con presencia de *Guadua angustifolia* dentro de la zona de estudio.

ID bloque	1	2	3	4	5	6	8
Área (ha)	0,61	1,45	2,06	2,46	5,17	6,03	8,04
ID bloque	10	11	12	13	14	15	Área total:
Área (ha)	5,26	2,20	4,51	3,19	4,92	4,83	50,72 ha

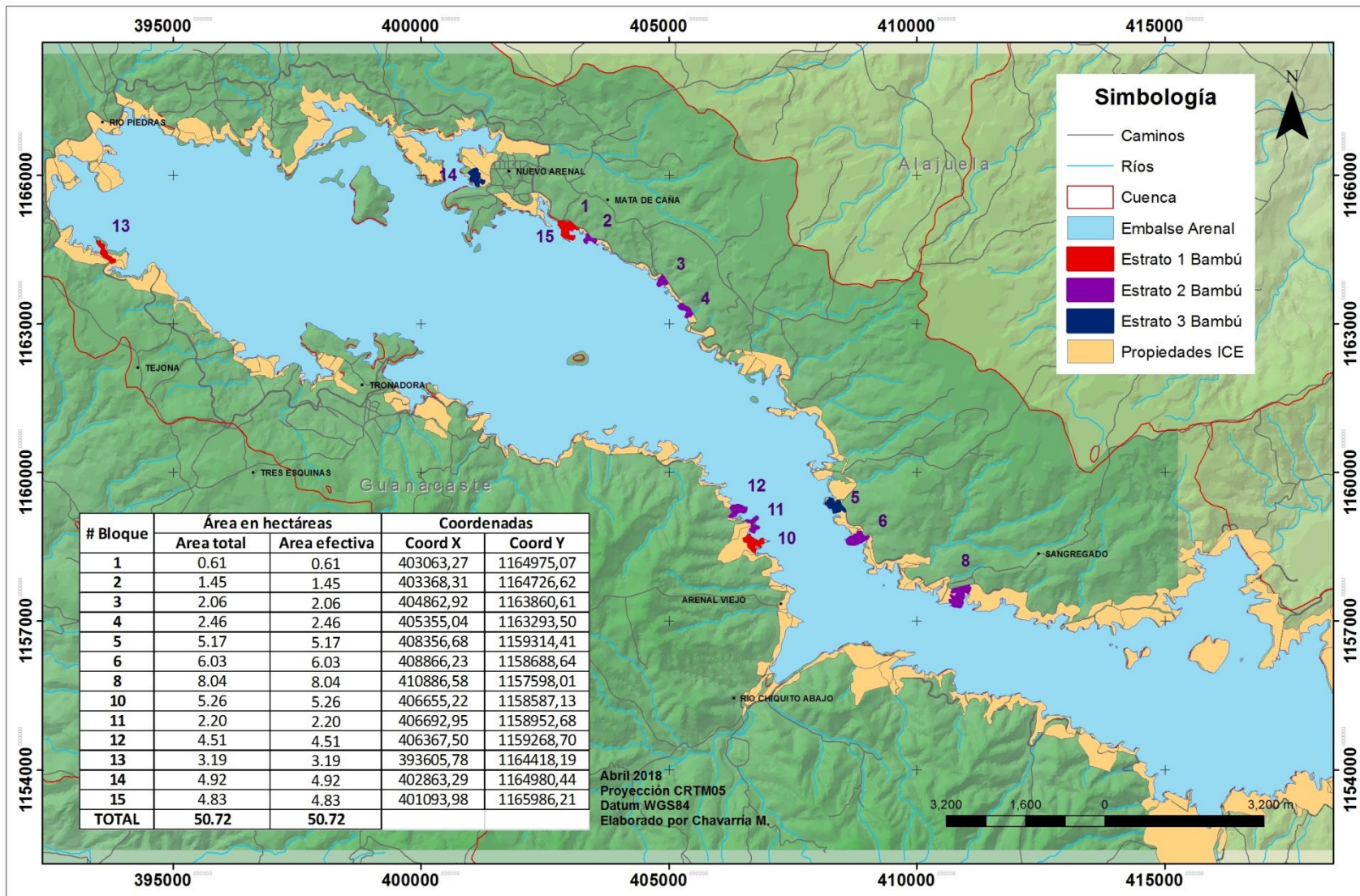


Figura 1. Ubicación geográfica de las áreas con cobertura de bambú en los terrenos propiedad del ICE alrededor del embalse Arenal, Guanacaste y Alajuela.

4.2. Tabulación y análisis de datos obtenidos por medio de trabajo de campo 2012-2013

Durante el periodo 2012-2013 la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional, por medio del proyecto de “Manejo de Carbono”, realizó mediciones a individuos de bambú ubicados en cinco sitios dentro del área de estudio (bloques 3, 5, 8, 10 y 15 según figura 1 y cuadro 1). Asimismo, en el mismo periodo, por medio de información propia recopilada en trabajo de campo, se visitaron siete sitios para la toma de datos (bloques 1, 2, 3, 4, 6, 13 y 14). El objetivo, en ambos casos, era conocer el estado estructural de los individuos de *Guadua angustifolia* al momento de la medición.

En dichos estudios se utilizó un diseño de muestreo aleatorio, sin reemplazo, con unidades de muestreo temporales de 100 m², de forma circular. En total se realizaron mediciones en 11 de los 13 bloques existentes con cobertura de *Guadua angustifolia* (únicamente los bloques 11 y 12 no fueron contemplados dentro del estudio), estableciéndose un total de 83 unidades de muestreo (1,64% de intensidad de muestreo).

A cada culmo localizado dentro de las parcelas instaladas se le midió el diámetro en centímetros y se registró la categoría de madurez según 5 clases: brotes, juveniles, sazones, maduros y ejes muertos en pie. Para llevar a cabo esta clasificación se consideraron aspectos como tamaño y color del tallo (Figura 2), tomando en consideración las siguientes características señaladas por Perea *et al.* (2003).

- **Brote:** culmos con edad menor a un año. En esta fase el tallo siempre está cubierto por hojas caulinares, tanto en su parte basal, como en su parte apical o superior. Los entrenudos son de color verde intenso y presentan dos bandas blancas en cada nudo, llamadas bandas nodales, compuestas de pubescencia (pelusa).
- **Juveniles:** edad entre uno a dos años. Se caracterizan por su color verde intenso, inicialmente poseen ramas, conservan algunas hojas caulinares en su parte inferior y se aprecian claramente las bandas nodales. Esta fase tiene una duración aproximada de un año a un año y medio. Cuando el tallo se torna verde claro y empieza a presentar manchas blancuzcas en su corteza está iniciando su maduración por lo que se traslada a la siguiente categoría de madurez.
- **Sazón:** edad entre dos a tres años. Se refiere a una etapa de maduración intermedia entre la denominada “juvenil” y “madura”. Se da la desaparición de hojas caulinares inclusive en su base, y se denota la aparición de los primeros líquenes en la corteza.

- **Madura:** edad mayor a tres años. El tallo se cubre de manchas liquenosas, se atenúan las bandas nodales y aparecen algunos musgos en los nudos, no hay hojas caulinares en ninguna parte del tallo y la guadua adquiere su mayor grado de resistencia. Esta es la fase de mayor duración (se prolonga entre 2 y 4 años).

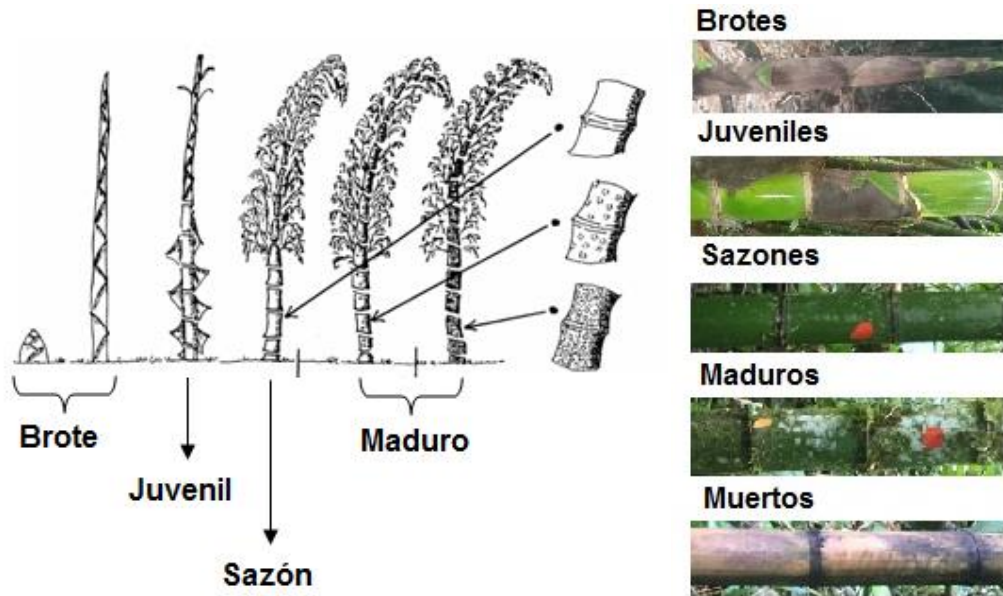


Figura 2. Clasificación visual de los culmos de bambú según su estado de madurez. Adaptado de Botero, s.f.

Por otra parte, la medición del diámetro del culmo (en centímetros) se realizó a una altura de 1,30 m (DAP), exceptuando los siguientes casos: cuando la altura de medición de 1,30 m se localizaba directamente en un entrenudo se realizó la medición por encima del entrenudo, esto para evitar tomar la medición en algún abultamiento. Asimismo, para el caso de individuos cuya altura total no superaba los 2 m, se realizó la medición directamente sobre la base, considerando que los culmos emergen a la superficie con el mismo diámetro que tendrá en la época de maduración.

Los datos registrados provenientes de los estudios fueron unificados en una sola base de datos, aspecto posible de realizar gracias a que el método de medición en ambos casos era similar. Se consolidó la siguiente información: fecha de medición, número de bloque, número de parcela de muestreo, diámetro del culmo en centímetros y clasificación por estado de madurez.

Con base en la información recolectada se procedió a calcular la cantidad de individuos por hectárea y bloque, porcentajes de representación por cada categoría de madurez, diámetro promedio de culmos por parcela y bloque, área basal (m^2), biomasa de culmos y total (Mg/ha y Mg/bloque), carbono almacenado en culmos y total (Mg/ha y Mg/bloque) por hectárea y bloque. Para esto se utilizaron las siguientes fórmulas de cálculo:

- **Área basal (m^2):** Se realizó el cálculo por cada individuo inventariado para luego estimar su representación por hectárea con la fórmula:

$$G = \left(\frac{\pi}{4} \times DAP^2 \right)$$

Donde:

G: Área basal expresada en m^2 /individuo

DAP: diámetro normal medido a una altura de 1,30 m, expresada en m.

- **Biomasa y carbono:** Con base en el valor obtenido de área basal (m²/ha) se aplicaron los siguientes modelos propuestos por Fonseca y Rojas (2016) para la estimación de biomasa en culmos y total, carbono en culmos y total:

- **Biomasa en culmos (Mg/ha):**

$$B_{culmos} = 13,8618 + 1,85367 \times G$$

- **Biomasa total (Mg/ha):**

$$B_{total} = 29,2136 + 1,78608 \times G$$

- **Carbono en culmos (Mg/ha):**

$$C_{culmos} = 6,30893 + 0,815235 \times G$$

- **Carbono total (Mg/ha):**

$$C_{total} = 10,7197 + 0,813445 \times G$$

4.3. Propuesta de diseño de muestreo y remediación de bloques

Con el fin de analizar las variaciones estructurales del bambú a través del tiempo, bajo condiciones naturales y en ausencia de manejo silvicultural, se tomó la decisión de realizar una segunda medición en el área de estudio. De esta manera se ejecutó una remediación de los bloques de *Guadua angustifolia* durante el año 2016, comparando la información resultante con la del inventario original realizado en el periodo 2012-2013.

4.3.1. Determinación del área efectiva

Con base en la delimitación de áreas totales bajo cobertura de *Guadua angustifolia* referenciada en el Cuadro 1 (50,72 ha), se realizó un ajuste en la determinación del área efectiva para fines de la planificación del inventario del periodo 2016.

De manera preventiva y en común acuerdo con el Instituto Costarricense de Electricidad, se determinó la necesidad de separar del área de estudio, aquella que estuviera afectada por las zonas de protección del embalse Arenal, definidas en la Ley Forestal 7575, la cual establece en sus artículos 33 y 34 lo siguiente:

“Se declaran áreas de protección las siguientes:

...c) Una zona de cincuenta metros medida horizontalmente en las riberas de los lagos y embalses naturales y en los lagos o embalses artificiales construidos por el Estado y sus instituciones. Se exceptúan los lagos y embalses artificiales privados...” (Artículo 33).

“Se prohíbe la corta o eliminación de árboles en las áreas de protección descritas en el artículo anterior, excepto en proyectos declarados por el Poder Ejecutivo como de conveniencia nacional. Los alineamientos que deban tramitarse en relación con estas áreas, serán realizados por el Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo” (Artículo 34).

Considerando lo anterior, se realizó una revisión del área utilizando Sistemas de Información Geográfica, separando el área afectada por ley.

Para esto, se tomó como base información geográfica del embalse Arenal aportada por parte del Departamento Administrativo de Bienes Inmuebles del ICE (DABI), y se ajustó el área cercana a los bloques de bambú por medio de una fotointerpretación utilizando ortofotos del proyecto TERRA 2005. Con la ayuda de un Sistema de Información Geográfica se desplegó el área de protección afectada por

ley y se ajustaron las áreas de bloques de bambú para estimar finalmente el “área efectiva” bajo cobertura de *Guadua angustifolia*.

4.3.2. Diseño de muestreo y remediación

Para la determinación del tamaño de muestra a considerar para la remediación de los bloques de bambú se tomó en cuenta la intensidad de muestreo (%) utilizada durante el primer inventario realizado en el periodo 2012-2013. Al ser ésta de un 1,64%, se valoró la utilización de un 1,5% de intensidad de muestreo para el segundo ejercicio, calculado sobre el área efectiva. Bajo esta premisa se distribuyeron 46 parcelas de muestreo en 8 bloques de bambú.

Para cada sitio se utilizó un diseño de muestreo aleatorio sin reemplazo, con parcelas temporales de 100 m² de forma circular. A cada culmo localizado dentro de las parcelas instaladas se le midió el diámetro en centímetros, se registró el estado fitosanitario (sano, con leves afecciones fitosanitarias o enfermo) y la categoría de madurez según las 5 categorías explicadas anteriormente en la figura 2.

Con base en la información recolectada se procedió a calcular la cantidad de individuos por hectárea y bloque, porcentajes de representación por cada categoría de madurez, diámetro promedio de culmos por parcela y bloque, área basal (m²), biomasa de culmos y total (Mg/ha y Mg/bloque), carbono almacenado en culmos y total (Mg/ha y Mg/bloque) por hectárea y bloque, utilizando los mismos métodos de cálculo referenciados en el apartado 4.2.

4.3.3. Estratificación

Una vez realizadas las mediciones, se evaluó si estadísticamente los resultados mostraban diferencias significativas o no, para su trato como una sola población, esto para fines de la presentación de la propuesta de rehabilitación de los bloques de bambú. Para lo anterior se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor, siendo la variable de análisis el área basal. Este análisis se realizó con el paquete estadístico incorporado dentro del programa Microsoft Excel 2007 y fue aplicado tanto para el inventario 2012-2013 como el realizado en el periodo 2016.

Los resultados de este análisis permitieron confirmar que existen diferencias significativas entre los valores de área basal estimados entre los bloques objeto de estudio. En un primer ejercicio, considerando todas las parcelas y bloques analizados en ambos periodos de estudio, se obtuvo un valor de P sobre el área basal menor a 0,001 en el año 2012-2013 y de 0,004 en el año 2016. Dado lo anterior, se decidió realizar una estratificación agrupando en 3 categorías según área basal los bloques objeto de estudio (Cuadro 3). Los rangos utilizados para realizar esta estratificación comprenden de 10 a 24 m²/ha (categoría 1 o baja), de 24,1 a 38 m²/ha (categoría 2 o media) y de 38,1 a 52 m²/ha (categoría 3 o alta).

Posterior a esta agrupación se efectuó nuevamente el análisis de varianza, obteniéndose resultados que indican que dentro de las 3 categorías, los bloques analizados se pueden considerar como poblaciones similares para fines del presente proyecto. Con base en lo anterior se optó por utilizar las 3 categorías enunciadas en la propuesta de rehabilitación de la cobertura de bambú.

Cuadro 3. Estratificación aplicada para los bloques objeto de estudio.

Categoría	Rango de área basal m ² /ha	Bloque de <i>Guadua angustifolia</i>	Área basal promedio m ² /ha		P value
			2013	2016	
1 -baja	10 a 24	1	14,85	-	0,8913
		10	20,19	16,25	
		13	13,87	13,35	
		14	15,62	-	
2 - media	24,1 a 38	2	30,78	-	0,7724
		3	28,08	-	
		4	28,97	-	
		6	43,21	35,10	

		8	30,82	28,99	
		11	-	24,84	
		12	-	35,11	
3 –alta	38,1 a 52	5	51,80	42,72	0,4982
		15	25,52	38,43	

Para la estratificación aplicada se estimaron estadísticos en ambos periodos de estudio tales como promedio estratificado, error típico, y error de muestreo estratificado (%).

4.4. Comparación entre ambas mediciones, análisis estadísticos, valoración de diferencias encontradas.

La información recolectada por medio de las mediciones realizadas tanto en el año 2012 como en el periodo 2016 fue tabulada y documentada para su análisis. Se calcularon en ambos casos porcentajes por categoría de madurez, estado fitosanitario, diámetro promedio de los culmos muestreados así como cantidad de individuos por hectárea y bloque.

Con base en los resultados obtenidos para cada una de las variables analizadas se realizó la comparación entre existencias de los dos periodos analizados (2012 y 2016). Para esto, se aplicó la siguiente ecuación:

$$Var = \frac{(M2 - M1)}{(t2 - t1)}$$

Donde:

Var: variable a analizar, ya sea volumen (m³ /año), biomasa (t/año) o carbono (t C /año).

M₂: valor resultante de la estimación de Var, al momento 2 de medición.

M₁: valor resultante de la estimación de Var, al momento 1 de medición.

T₂: tiempo en años de la segunda medición.

T₁: tiempo en años de la primera medición.

Dichas comparaciones fueron realizadas para cada uno de los 3 estratos predeterminados.

4.5. Revisión de prácticas de manejo y rehabilitación de la cobertura de bambú en diferentes sitios a nivel nacional, revisión de literatura para propuesta de rehabilitación de acuerdo a condiciones encontradas.

Se llevó a cabo una revisión de literatura, además de la aplicación de cuatro entrevistas técnicas semiestructuradas a expertos que han trabajado en el manejo y rehabilitación de la cobertura de bambú para otros sitios, con el fin de analizar las experiencias aprendidas, e implementar prácticas de rehabilitación según el estado estructural encontrado en el área de estudio.

Por medio de las entrevistas se lograron validar los criterios técnicos propuestos relacionados a la intensidad y la frecuencia del aprovechamiento de culmos, así como buenas prácticas en la planificación y ejecución de los mantenimientos a las plantaciones. Asimismo, se presentaron los principales resultados provenientes de la evaluación del estado actual de los sitios con *Guadua angustifolia* bajo estudio así como las variaciones presentadas entre dos periodos de medición en ausencia de manejo silvicultural aplicado.

Para el desarrollo de tales entrevistas se tomaron en cuenta las siguientes consultas con el entrevistado

- ¿A la fecha cual ha sido su experiencia con el manejo de plantaciones de *Guadua angustifolia*?
- ¿Cuenta con alguna clasificación por categoría de madurez para los culmos de bambú? En caso de contar con esta ¿podría detallar su aplicación?
- ¿Cada cuánto realiza intervenciones silviculturales a las plantaciones de bambú?

- En caso de realizar intervenciones silviculturales a las plantaciones, ¿cómo determina la intensidad de aprovechamiento?
- A su parecer, ¿Cuáles aspectos son críticos para la planificación y ejecución de las intervenciones dentro de una plantación de bambú?
- ¿Cuál es su percepción con relación al potencial de mercado que existe a nivel nacional para el bambú?
- De acuerdo a los resultados mostrados (resultados del área de estudio como parte de este proyecto de graduación) ¿cuáles aspectos consideraría pertinentes para la intervención de estas plantaciones?

Toda esta información fue documentada y analizada con el fin de adecuar las prácticas de rehabilitación propuestas según el estado de los rodales de bambú dentro del área de estudio.

4.6. Plan de manejo para la rehabilitación de las plantaciones de bambú

Con base en la información recopilada acerca del estado estructural de los bloques de *Guadua angustifolia*, se desarrolló una propuesta de rehabilitación para la cobertura de bambú buscando asegurar los beneficios de protección ambiental asociados. Se consideraron, entre otros aspectos, los requisitos legales pertinentes, aspectos estructurales de los rodales de bambú, accesibilidad a los sitios y demás variables que pudieran afectar la ejecución de las actividades propuestas.

Finalmente se realizó una valoración del potencial de generación de biomasa de los sitios como fuente de material para la generación de energía eléctrica y se analizaron los porcentajes de madurez de culmos para cada sitio y momento de medición.

5. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS⁴

5.1. Estratificación aplicada

Se aplicó una estratificación posterior a la medición tanto para el análisis de resultados del inventario 2012-2013 como del estudio realizado en el periodo 2016 utilizando el área basal (m^2/ha) como criterio de estratificación. De esta forma, se analizan los resultados de las mediciones para 3 diferentes estratos, de acuerdo a lo estipulado en el cuadro X. Se presentan algunas observaciones para los bloques de bambú, detectadas por medio de las visitas de campo realizadas o a partir de información recolectada de acuerdo con García (2005).

Estrato	Bloques incluidos	Área total (ha)	Área efectiva (ha)	Observaciones
1	1	0,61	0,10	Conocido como “Felipita”, fue establecido con un distanciamiento de siembra de 5 x 5 m.
	10	5,26	3,20	Se observa dentro del bloque presencia de árboles de eucalipto con diámetros que rondan entre los 40 a 50 cm.
	13	3,19	2,17	Conocido como “La Rosita”. Visualmente se denota afectado por la falta de manejo y problemas externos que han afectado al bambú desde su establecimiento (incendios, pastoreo y exceso de viento).
	14	4,92	2,11	Conocido como “Galpón”. Cuenta con la presencia de un conjunto de cepas de la especie <i>Dendrocalamus latiflorus</i> , además de cepas aisladas de variedad atlántica.
	Total	13,97	7,57	
2	2	1,45	0,13	Conocido como “Charraspín”. La topografía del terreno es quebrada, limitando en la sección suroeste con el embalse.
	3	2,06	1,08	El bloque se encuentra entre dos quebradas, con una topografía quebrada.
	4	2,46	1,19	Se da presencia de árboles aislados, además de pequeños claros dentro del bloque. El sector se encuentra ubicado entre dos reforestaciones establecidas en el año 2011.
	6	6,03	3,43	Se observan pequeños claros dentro del bloque causados por la falta de manejo y posterior caída de ejes
	8	8,04	6,09	Se aprecia gran cantidad de claros dentro del bloque, efecto de la falta de manejo en el sitio. Visualmente se nota una degradación del bloque por efecto de la caída de culmos y entrada de especies colonizadoras, formando charrales dentro del sitio.
	11	2,20	0,62	No se observaron árboles en asociación con la <i>Guadua angustifolia</i> dentro de este bloque.
	12	4,51	1,60	En el interior del bloque se encuentran árboles de porte alto alcanzando hasta 150 cm de diámetro.
	Total	26,74	1,13	
3	5	5,17	4,16	Se observa presencia tanto de individuos de variedad “sur” como “atlántica”.
	15	4,83	4,56	Se encuentra ubicado en la parte trasera del cementerio de Nuevo Arenal. En el interior del bloque existe una gran cantidad de árboles regenerados de porte mediano, además de árboles de pino que alcanzan hasta los 50 cm de diámetro
	Total	10,00	8,72	

5.2. Resultados obtenidos a partir de la elaboración del inventario 2012-2013

Con base en la información recolectada por medio de la elaboración del inventario del periodo 2012-2013, se estimó la cantidad de individuos por categoría de madurez, diámetro promedio de culmos (cm), área basal (m²), biomasa de culmos (Mg), biomasa total (Mg), carbono almacenado en culmos (Mg) y carbono total almacenado (Mg), todas las anteriores estimadas por hectárea y presentadas para cada estrato de manera independiente.

Cuadro X. Cantidad de individuos por hectárea y estrato, según categoría de madurez, inventario 2012-2013. Arenal, Costa Rica.

Estrato	Brote	Juvenil	Sazón	Maduro	Muerto	Total
1	172	269	1372	2117	1297	5228
2	261	292	1700	3092	1872	7217
3	522	39	983	3894	1578	7017

En estrato 1 son 3931 culmos/ha vivos.

En estrato 2 son 5344 culmos/ha vivos.

En estrato 3 son 5430 culmos/ha vivos.

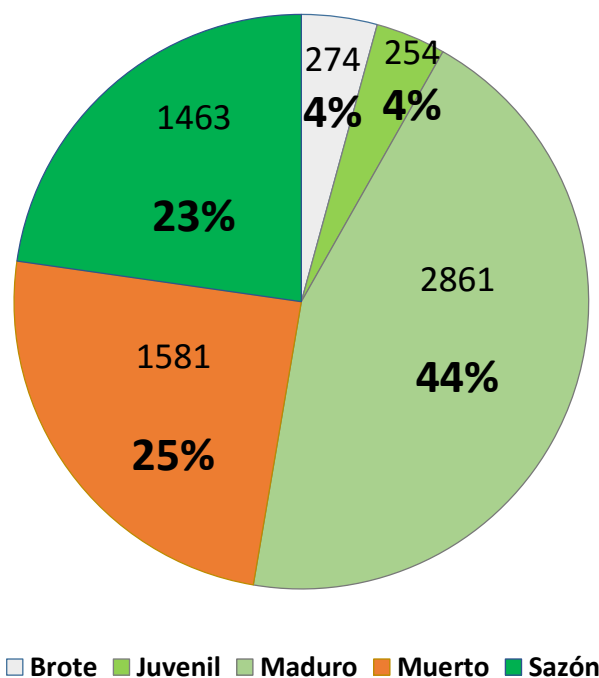


Figura X. Representación porcentual según categoría de madurez de todos los individuos de *Guadua angustifolia* inventariados en el periodo 2012-2013. Datos expresados en individuos/ha. Arenal, Costa Rica.

Cuadro X. Diámetro promedio (cm) y área basal total (m²/ha) de individuos vivos de *Guadua angustifolia* por estrato, inventariado en el periodo 2012-2013. Arenal, Costa Rica.

Estrato	DAP □ (cm)	Área basal total (m ²)/ha
1	6,97	16,69
2	8,30	32,92
3	9,42	40,12

Cuadro X. Biomasa de culmos (Mg), biomasa total (Mg), carbono almacenado en culmos (Mg) y carbono total almacenado (Mg) de individuos vivos de *Guadua angustifolia* por estrato, inventariado en el periodo 2012-2013. Arenal, Costa Rica.

Estrato	Datos en Mg/ha				Datos en Mg totales por estrato			
	Biomasa culmos	Biomasa total	Carbono culmos	Carbono total	Biomasa total en área efectiva	Carbono total en área efectiva	biomasa total en área completa	Carbono total en área completa
1	44,80	59,02	19,91	24,30	447,07	184,03	824,82	339,52
2	74,88	88,00	33,14	37,49	1243,61	529,85	2353,24	1002,62
3	88,24	100,88	39,02	43,36	879,48	378,01	1008,80	433,59

Es importante señalar que la categoría madura es la única que podría ser aprovechada comercialmente como madera estructural. Por lo que si se considera este escenario, de acuerdo a esta medición únicamente el % de los culmos sería aprovechable. Este % dista de datos presentados

1.1. Resultados obtenidos a partir de la elaboración del inventario 2016

Cuadro X. Cantidad de individuos por hectárea y estrato, según categoría de madurez, inventario 2016. Arenal, Costa Rica.

Estrato	Brote	Juvenil	Sazón	Maduro	Muerto	Total
1	110	1030	340	2100	1330	4910
2	205	663	521	2674	1695	5758
3	265	306	1041	2635	1135	5382

En estrato 1 son 3580 culmos/ha vivos.

En estrato 2 son 4063 culmos/ha vivos.

En estrato 3 son 4247 culmos/ha vivos.

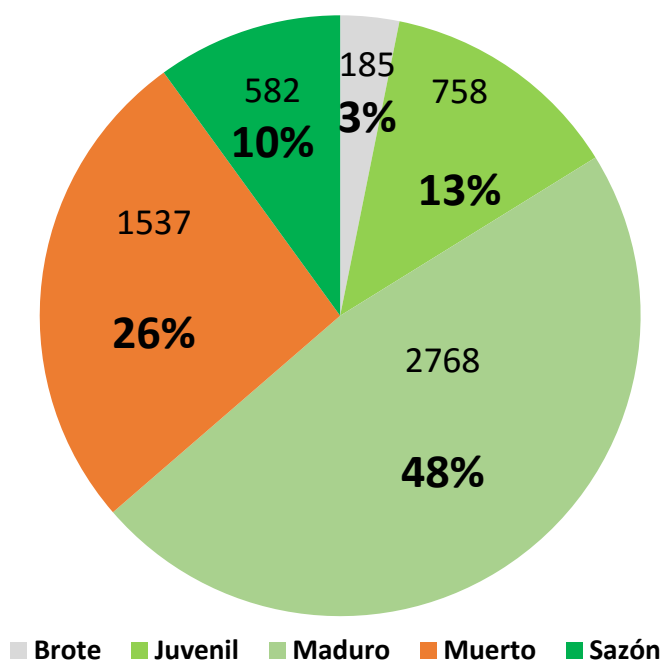


Figura X. Representación porcentual según categoría de madurez de todos los individuos de *Guadua angustifolia* inventariados en el periodo 2016. Datos expresados en individuos/ha. Arenal, Costa Rica.

Cuadro X. Diámetro promedio (cm) y área basal total (m²/ha) de individuos vivos de *Guadua angustifolia* por estrato, inventariado en el periodo 2016. Arenal, Costa Rica.

Estrato	DAP □ (cm)	Área basal total (m ²)/ha
1	6,94	15,09
2	9,60	31,88
3	10,79	40,20

Cuadro X. Biomasa de culmos (Mg), biomasa total (Mg), carbono almacenado en culmos (Mg) y carbono total almacenado (Mg) de individuos vivos de *Guadua angustifolia* por estrato, inventariado en el periodo 2012-2013. Arenal, Costa Rica.

Estrato	Datos en Mg/ha				Datos en Mg totales por estrato			
	Biomasa culmos	Biomasa total	Carbono culmos	Carbono total	Biomasa total en área efectiva	Carbono total en área efectiva	biomasa total en área completa	Carbono total en área completa
1	41,83	56,16	18,61	22,99	425,42	174,17	784,87	321,33
2	72,95	86,15	32,30	36,65	1217,38	517,91	2303,62	980,02

3	88,38	101,01	39,08	43,42	880,66	378,55	1010,16	434,21
---	-------	--------	-------	-------	--------	--------	---------	--------

1.2. Comparación entre ambas mediciones, análisis estadísticos, valoración de diferencias encontradas.

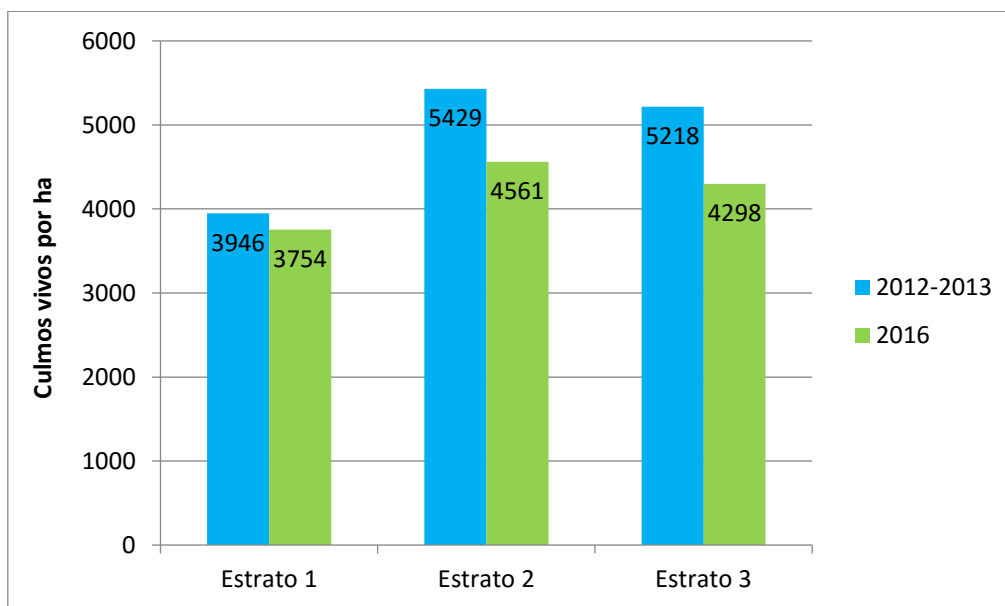
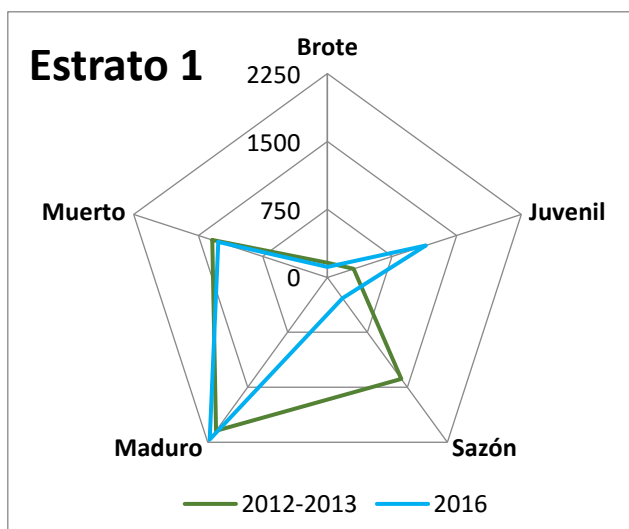
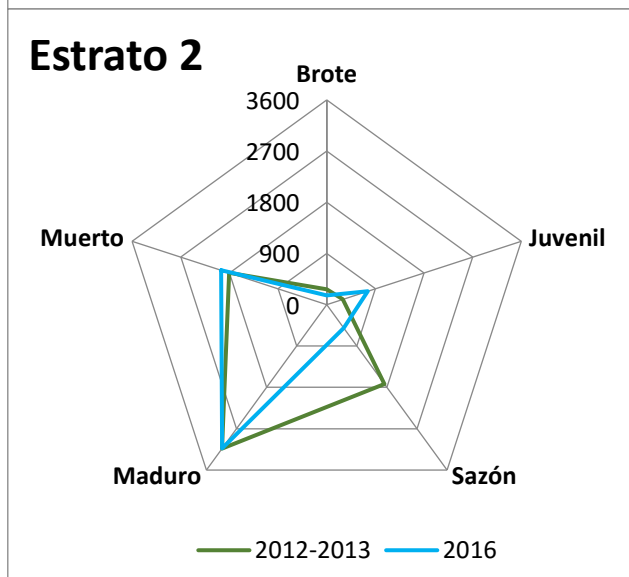


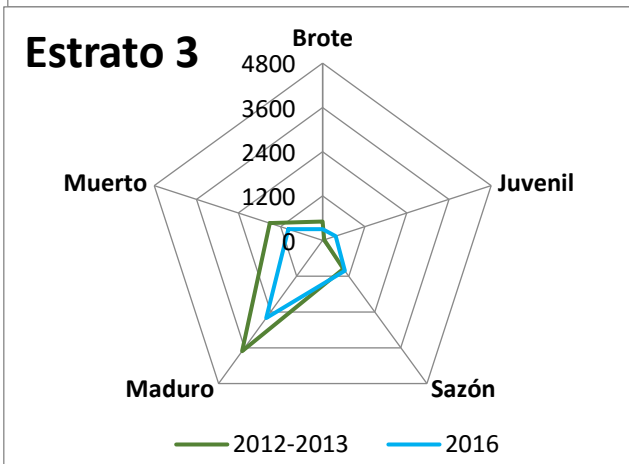
Figura X. Comparación entre cantidad de culmos vivos/ha entre inventario realizado en periodo 2012-2013 e inventario realizado en periodo 2016. Arenal, Costa Rica.



Categoría de madurez	Año	
	2013	2016
Brote	163	117
Juvenil	304	1142
Sazón	1386	283
Maduro	2093	2213
Muerto	1338	1267



Categoría de madurez	Año	
	2013	2016
Brote	269	161
Juvenil	299	760
Sazón	1728	512
Maduro	3133	3128
Muerto	1807	1953



Categoría de madurez	Año	
	2013	2016
Brote	509	300
Juvenil	40	371
Sazón	954	1022
Maduro	3715	2604
Muerto	1505	976

Figura X. Comparación de individuos/ha por categoría de madurez 2012-2013 e inventario 2016. Arenal, Costa Rica

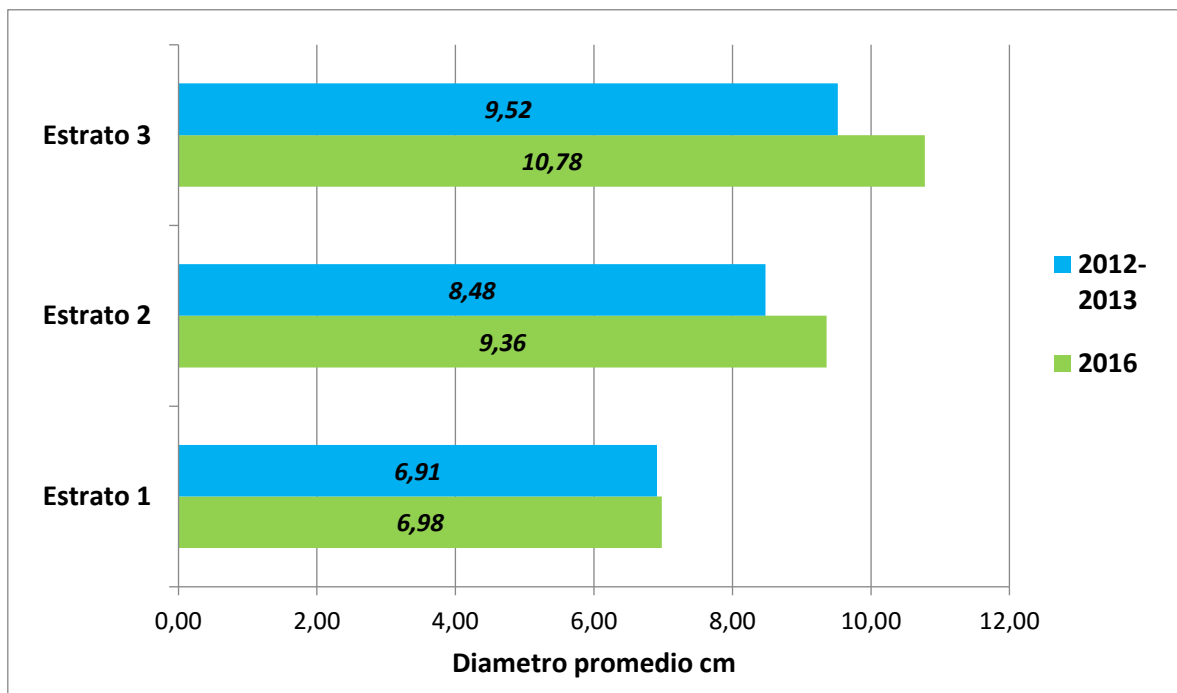


Figura X. Comparación de diámetro promedio en cm de los individuos vivos por cada estrato encontrados en inventario 2012-2013 e inventario 2016. Arenal, Costa Rica

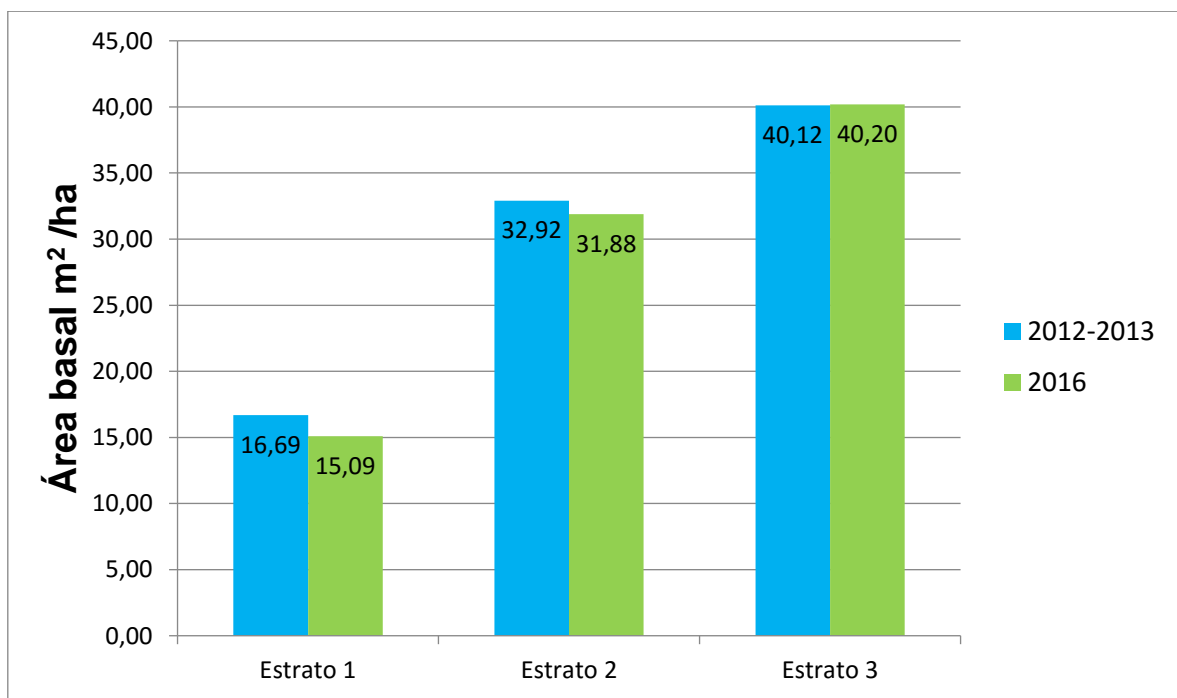


Figura X. Comparación entre área basal (m²/ha) de individuos vivos entre inventario realizado en periodo 2012-2013 e inventario realizado en periodo 2016. Arenal, Costa Rica.

Cuadro X. Comparación entre Biomasa de culmos (Mg/ha), biomasa total (Mg), carbono almacenado en culmos (Mg) y carbono total almacenado (Mg) de individuos vivos y muertos de *Guadua angustifolia* por estrato, entre inventario realizado en el periodo 2012-2013 e inventario 2016. Arenal, Costa Rica.

Individuos vivos						Individuos muertos			
Estrato	Año	Biomasa culmos Mg/ha	Biomasa total Mg/ha	Carbono culmos Mg/ha	Carbono total Mg/ha	Biomasa culmos Mg/ha	Biomasa total Mg/ha	Carbono culmos Mg/ha	Carbono total Mg/ha
1	2013	44.80	59.02	19.91	24.30	9.18	8.84	4.04	4.03
	2016	41.83	56.16	18.61	22.99	11.14	10.73	4.90	4.89
2	2013	74.88	88.00	33.14	37.49	24.04	23.16	10.57	10.55
	2016	72.95	86.15	32.30	36.65	22.65	21.83	9.96	9.94
3	2013	88.24	100.88	39.02	43.36	20.17	19.43	8.87	8.85
	2016	88.38	101.01	39.08	43.42	20.67	19.91	9.09	9.07

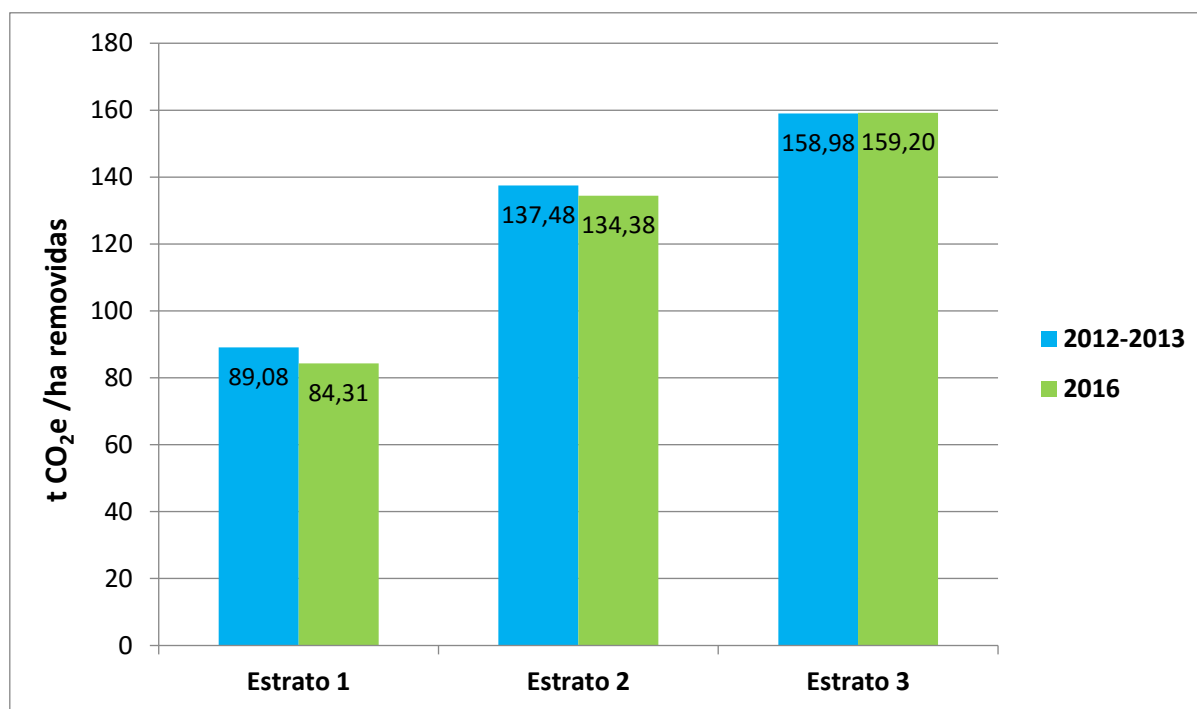


Figura X. Comparación de t CO₂e/ha removidas (stock) de los individuos vivos por cada estrato encontrados entre inventario 2012-2013 e inventario 2016. Arenal, Costa Rica

Cuadro X. Biomasa total, CO₂e removido e incremento anual por cada estrato y año de medición, en el área efectiva y área total bajo estudio. Arenal, Costa Rica.

En área efectiva							
Estrato	Área ha	Biomasa total Mg		Incremento anual Mg	t CO ₂ e		Incremento anual Mg
		2012-2013	2016		2012-2013	2016	
Estrato 1	7.57	514.05	506.70	-2.03	786.62	774.35	-3.39
Estrato 2	14.13	1570.94	1525.81	-12.47	2489.41	2414.04	-20.83
Estrato 3	8.72	1048.91	1054.27	1.48	1668.96	1677.91	2.47
Total	30.42	3133.90	3086.77	-13.02	4945.00	4866.30	-21.74

En área total							
Estrato	Área ha	Biomasa total Mg		Incremento anual Mg	t CO ₂ e		Incremento anual Mg
		2012-2013	2016		2012-2013	2016	
Estrato 1	13.97	948.38	934.82	-3.75	1451.26	1428.61	-6.26
Estrato 2	26.74	2972.64	2887.24	-23.60	4710.64	4568.01	-39.41
Estrato 3	10.00	1203.15	1209.29	1.70	1914.38	1924.64	2.84
Total	50.72	5124.17	5031.35	-25.65	8076.27	7921.27	-42.83

Diferencia de existencias biomasa viva	2013	2016	Incremento
Categoría	CO ₂ total Mg/ha	CO ₂ total Mg/ha	t CO ₂ e/ha/año
1	89.08	84.31	-1.32
2	137.48	134.38	-0.86
3	158.98	159.20	0.06

-0.70

A partir de las mediciones realizadas en el periodo 2012-2013 se obtuvieron registros de 5377 culmos inventariados en campo, distribuidos en 11 bloques (1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 13, 14 y 15).

El 24,6% de los individuos existentes dentro de las áreas de estudio se encuentran muertos (1581 individuos/ha). Tomando como parámetro la población viva (4851 individuos/ha), se obtuvo que la categoría de mayor representación en cuanto a estado de madurez de los culmos es la clasificada como “madura” con un 59%, seguido de la categoría “sazón” con cerca de un 30% de la población viva. Las categorías de menor representación fueron los brotes y juveniles con un 5,6 y 5,2% de representación respectivamente.

Las áreas con mayor cantidad de individuos vivos/ha fueron los bloques 2,3 y 5 superando los 6000 individuos. En contraposición, los boques 6,10 y 15 presentaron las menores densidades en población, siendo inferiores a los 3800 individuos/ha. Por otro lado, las áreas con mayor mortalidad fueron los bloques 3, 5 y 13, superando los 2100 individuos/ha, mientras que los bloques 8,10 y 15 no sobrepasaron los 850 individuos/ha muertos.

En relación al diámetro promedio de los individuos vivos, los bloques 5,6 y 15 obtuvieron resultados superiores a los 9 cm, mientras que los bloques 1, 13 y 14 resultaron con diámetros inferiores a los 7 cm. Los sitios de estudio con mayor área basal obtenida fueron los bloques 5 (67,32 m²/ha) y 6 (63,79), mientras que los bloques 1 y 14 obtuvieron los valores más bajos del estudio (18,75 y 19,34 m²/ha respectivamente).

Los sectores con mayor generación de biomasa por hectárea son los bloques 5 y 6 con 121,74 y 106,39 Mg/ha respectivamente, mientras que los bloques 1 y 13 obtuvieron las menores tasas de generación de biomasa con valores de 55,73 y 53,98 Mg/ha.

Área efectiva para la propuesta de rehabilitación:

Posterior al ejercicio de la determinación del área efectiva para la propuesta de rehabilitación, se obtuvo un área final de 30,42 ha, fuera de las zonas de protección reglamentarias (40% de reducción con respecto al área total de los bloques con *Guadua angustifolia*).

Cuadro 2. Área (ha) efectiva de los bloques con presencia de bambú dentro de la zona de estudio.

ID bloque	1	2	3	4	5	6	8
Área (ha)	0,10	0,13	1,08	1,19	4,16	3,43	6,09
ID bloque	10	11	12	13	14	15	Área total:
Área (ha)	3,20	0,62	1,60	2,17	2,11	4,56	30,42 ha

Los bloques de mayor afectación en reducción de área efectiva por fines reglamentarios fueron el bloque 1 y 2 (84% y 91% de reducción de área respectivamente), mientras que los bloques 15 y 5 fueron los de menor afectación (6% y 20% de reducción) por no colindar directamente con el embalse. Lo anterior se puede visualizar por medio de las figuras X a la XX así como los datos del cuadro 2.

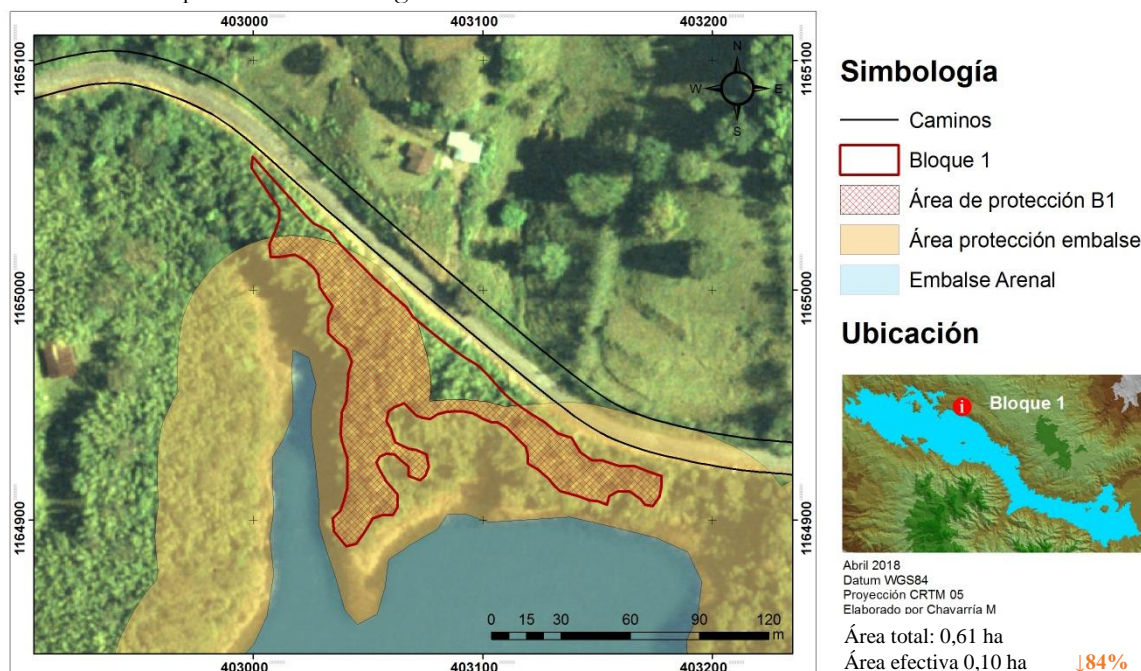


Figura X. Bloque 1 bajo cobertura de *Guadua angustifolia*, Arenal, Costa Rica.

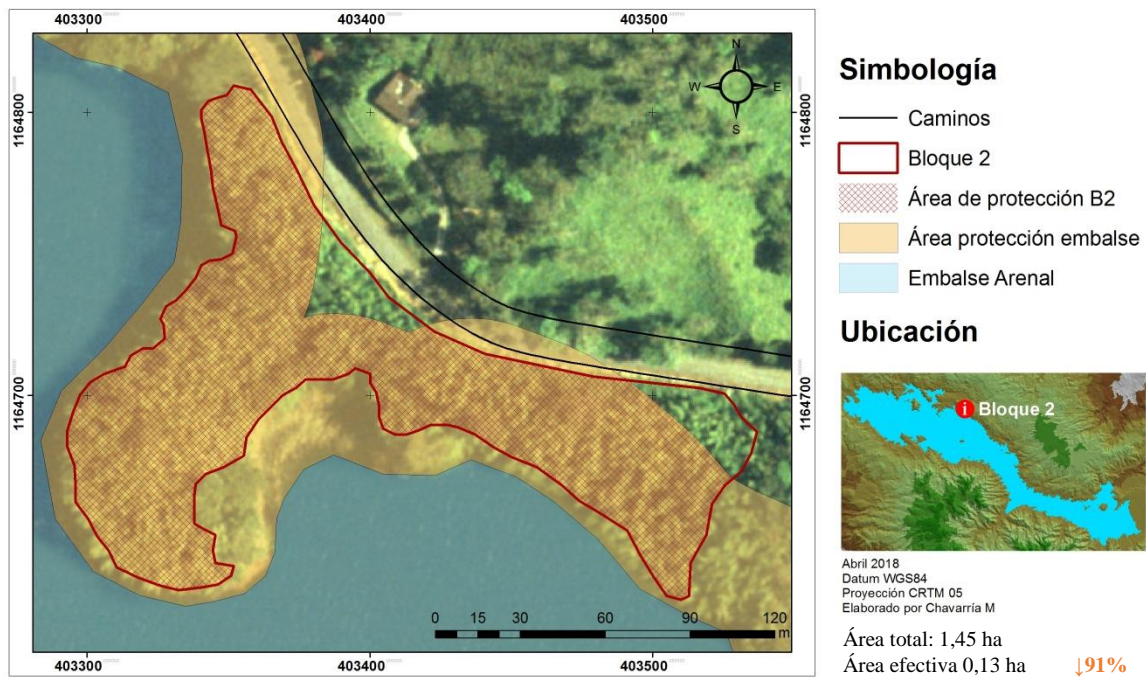


Figura X. Bloque 2 bajo cobertura de *Guadua angustifolia*, Arenal, Costa Rica.

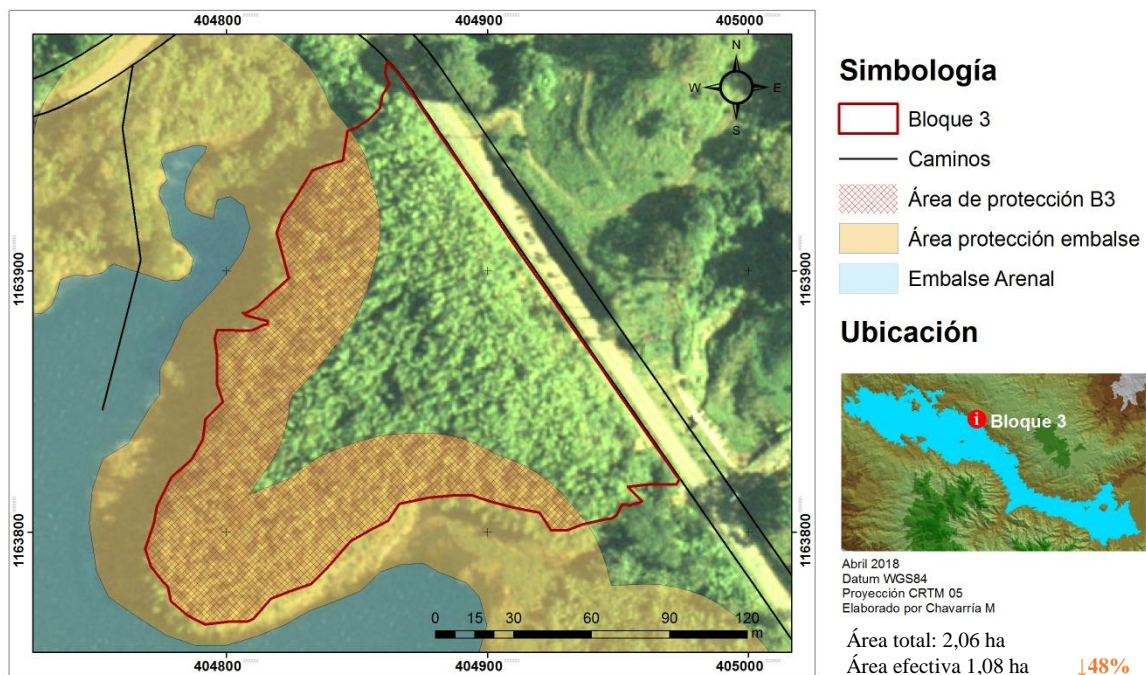


Figura X. Bloque 3 bajo cobertura de *Guadua angustifolia*, Arenal, Costa Rica.

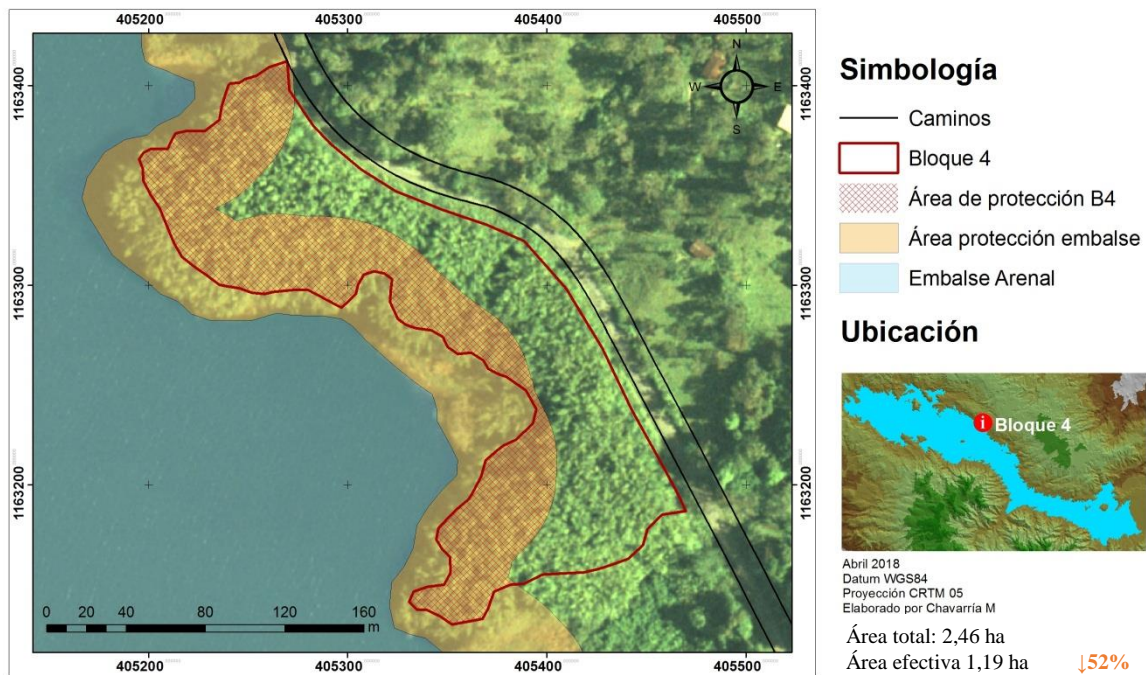


Figura X. Bloque 4 bajo cobertura de *Guadua angustifolia*, Arenal, Costa Rica.

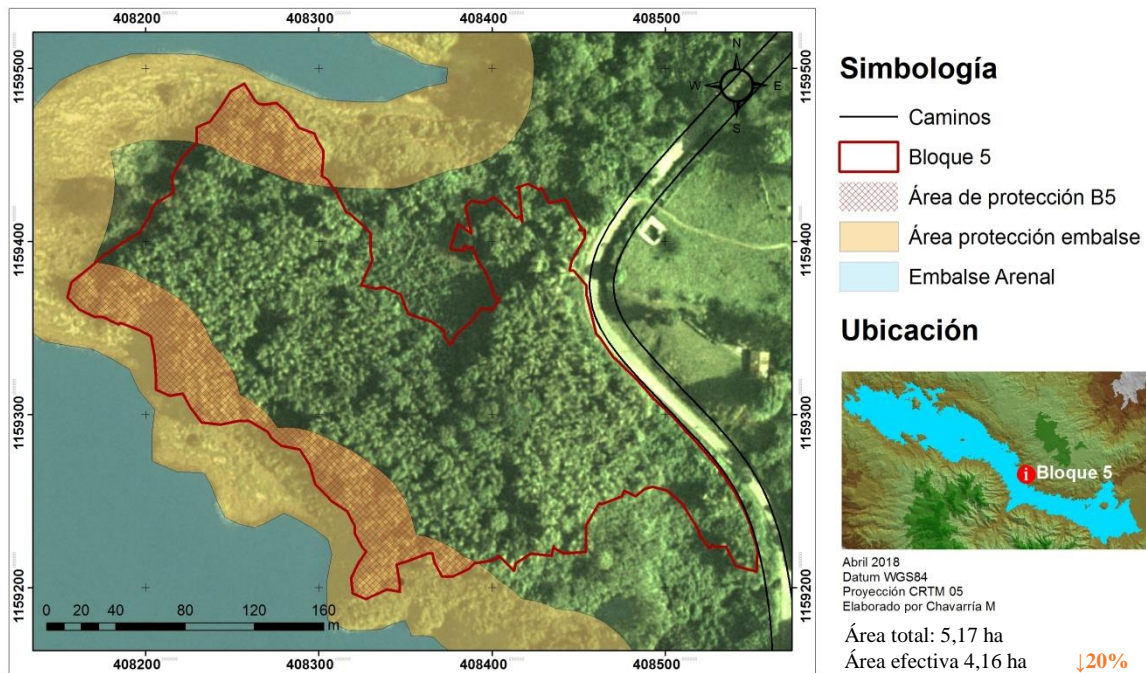


Figura X. Bloque 5 bajo cobertura de *Guadua angustifolia*, Arenal, Costa Rica.

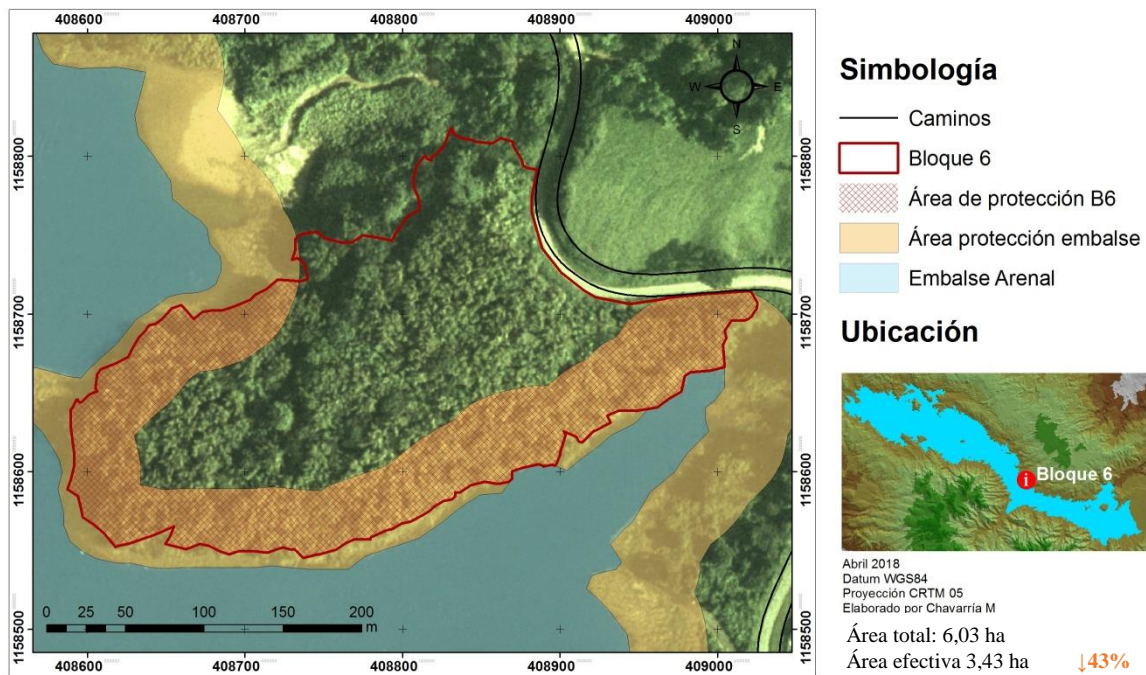


Figura X. Bloque 6 bajo cobertura de *Guadua angustifolia*, Arenal, Costa Rica.

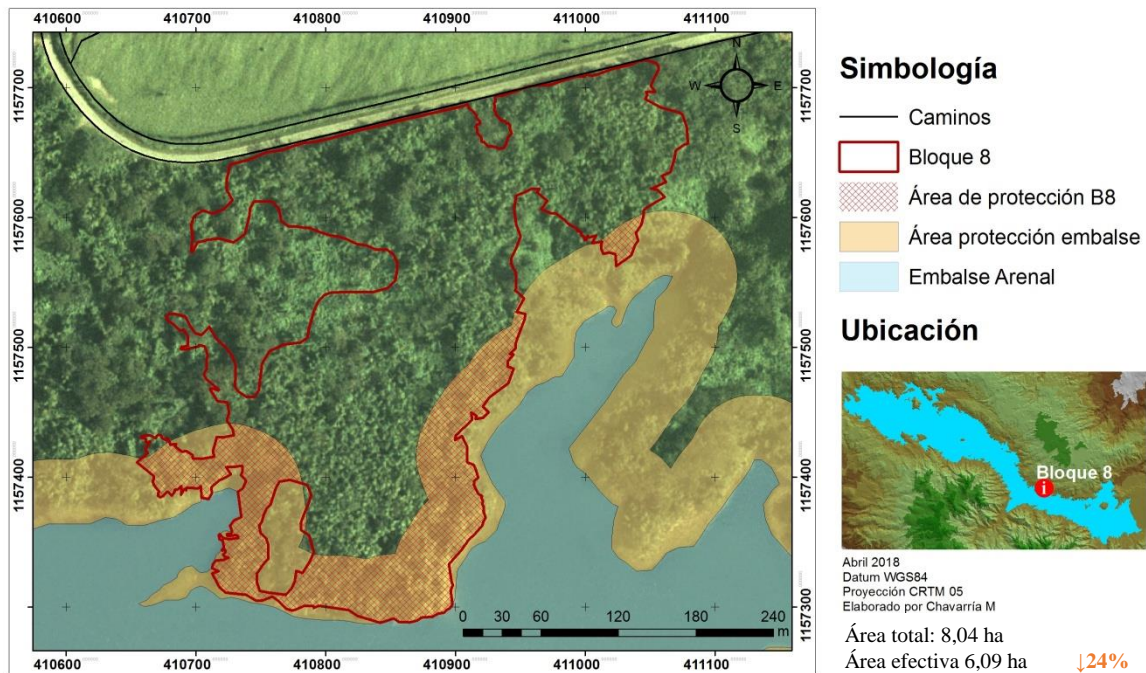


Figura X. Bloque 8 bajo cobertura de *Guadua angustifolia*, Arenal, Costa Rica.

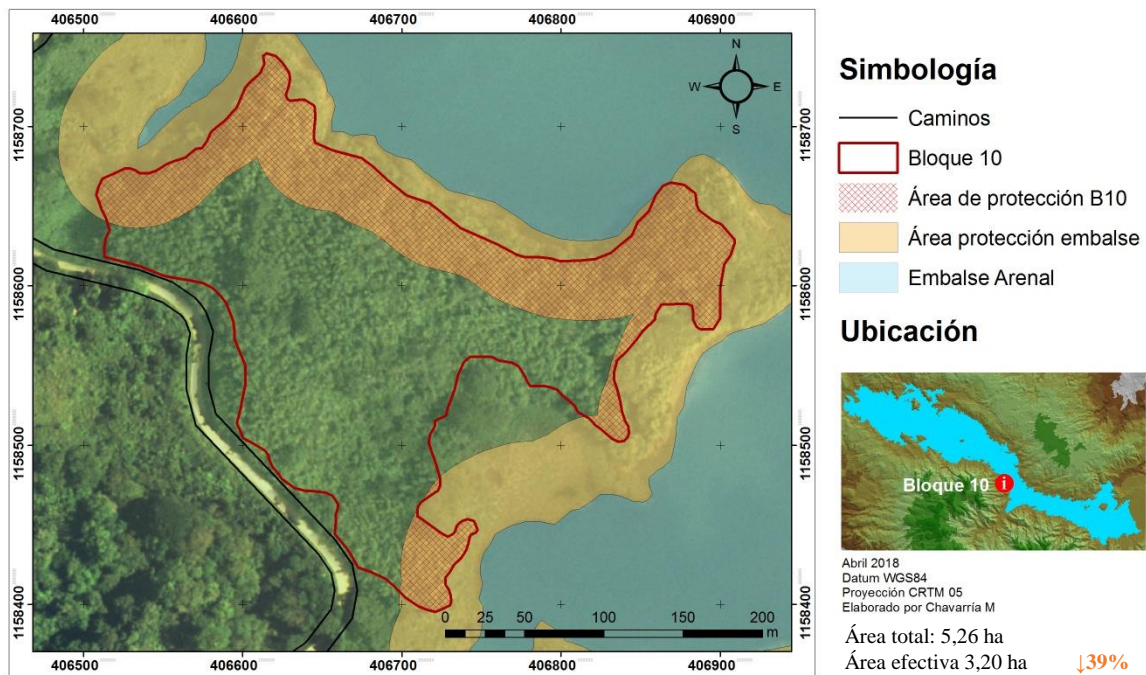


Figura X. Bloque 10 bajo cobertura de *Guadua angustifolia*, Arenal, Costa Rica.

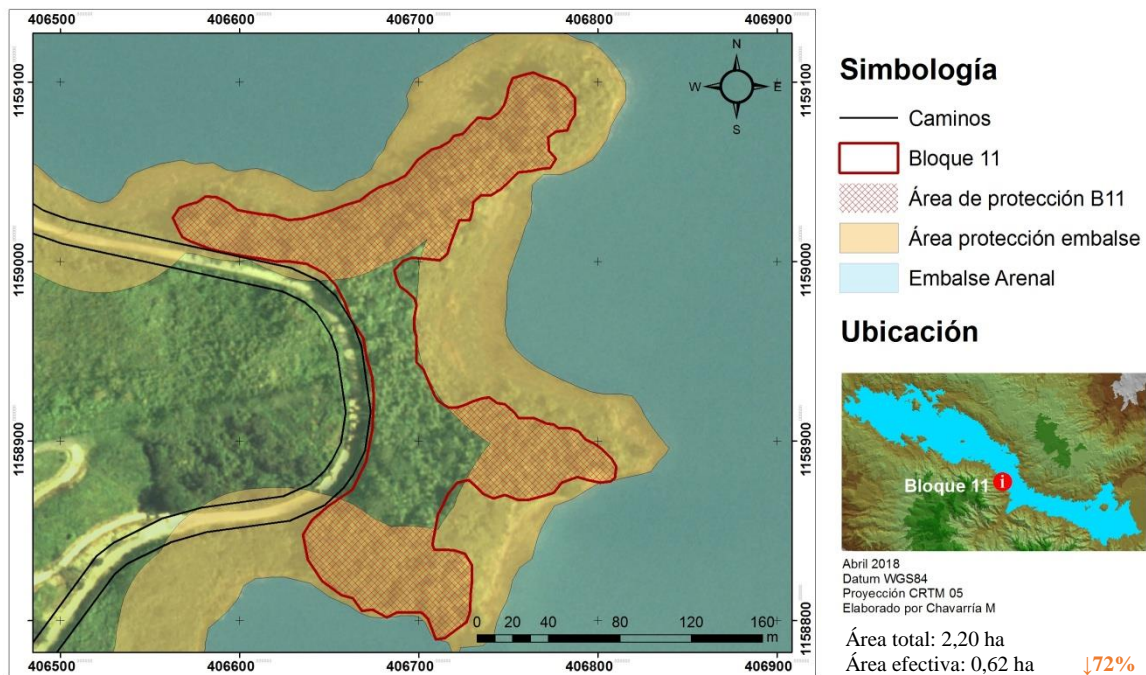


Figura X. Bloque 11 bajo cobertura de *Guadua angustifolia*, Arenal, Costa Rica.

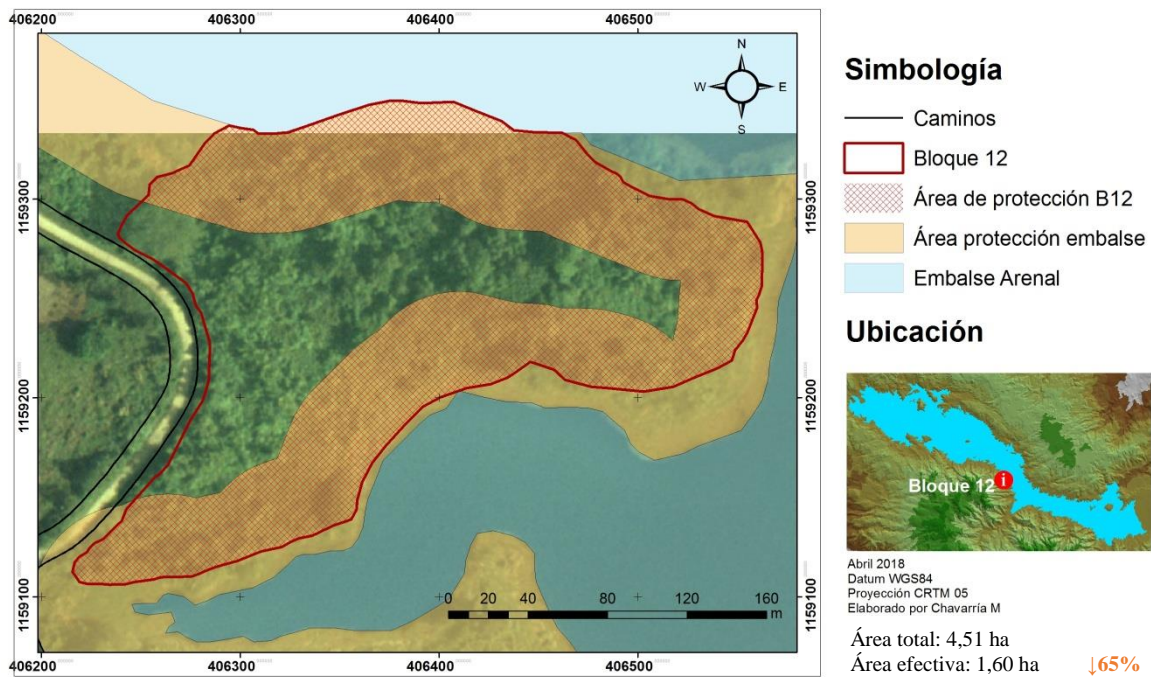


Figura X. Bloque 12 bajo cobertura de *Guadua angustifolia*, Arenal, Costa Rica.

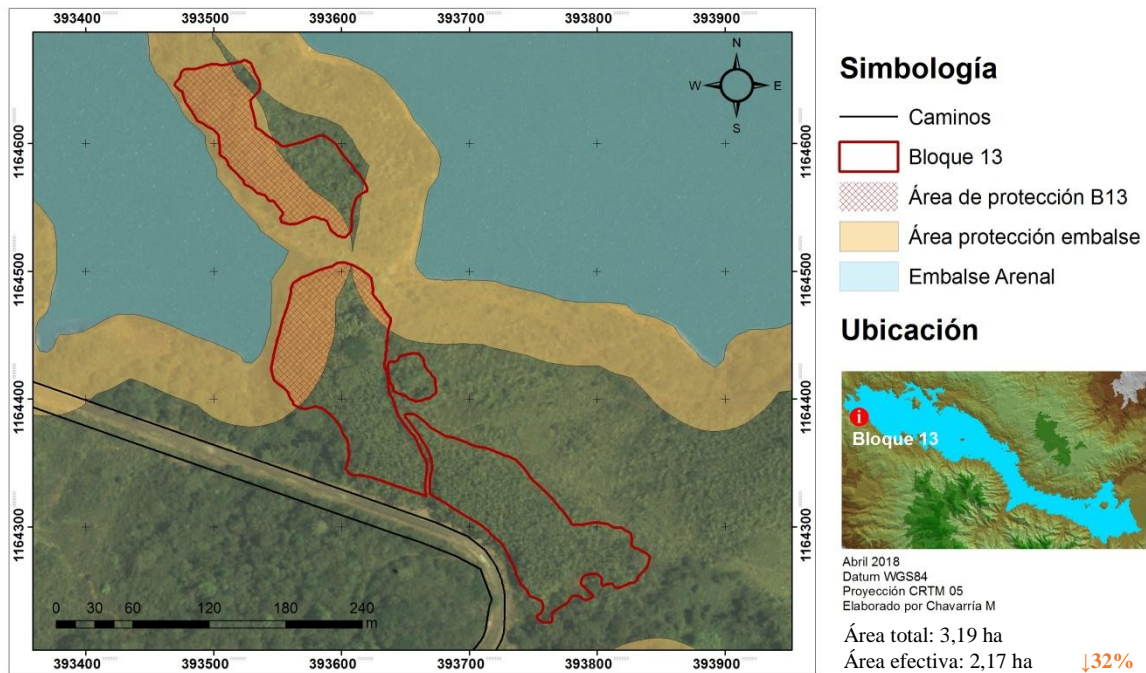


Figura X. Bloque 13 bajo cobertura de *Guadua angustifolia*, Arenal, Costa Rica.

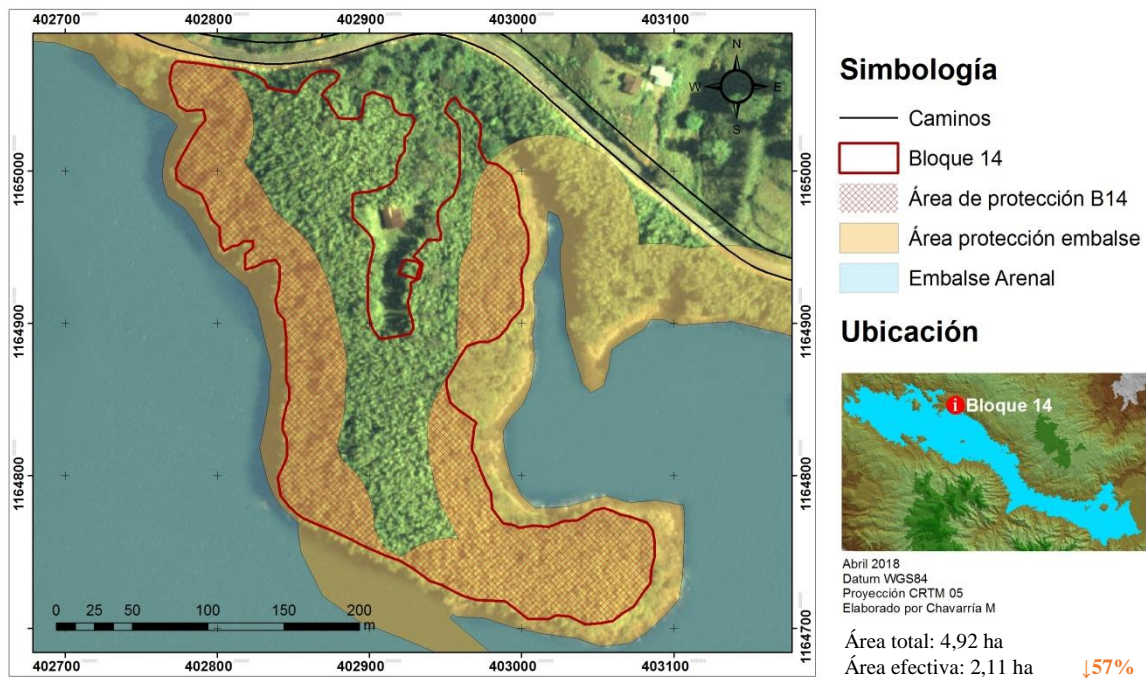


Figura X. Bloque 14 bajo cobertura de *Guadua angustifolia*, Arenal, Costa Rica.

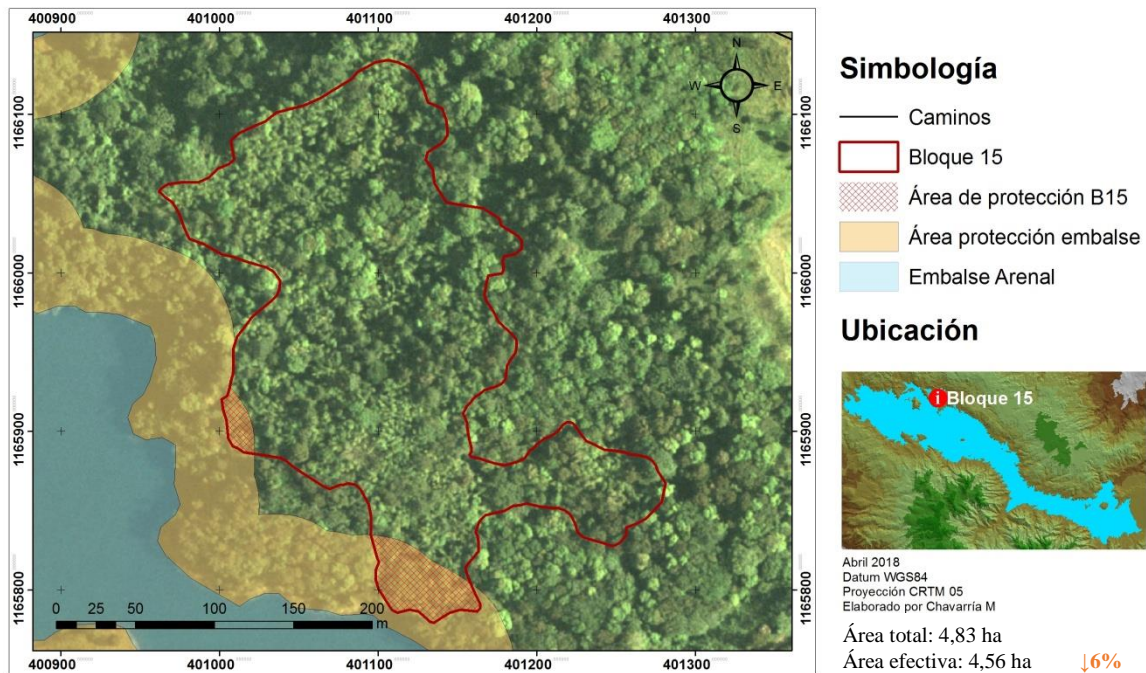


Figura X. Bloque 15 bajo cobertura de *Guadua angustifolia*, Arenal, Costa Rica.

Para la selección de los sitios que serían objeto de remediación se descartaron los bloques 1, 2, 3, 4 y 14, considerando aspectos como área efectiva resultante, rentabilidad del proceso de medición así como

logística en la ejecución del presente proyecto. El desglose de área efectiva por bloque se detalla en el Cuadro 2, resaltándose en color azul aquellos sitios que fueron parte del estudio de remediación efectuado en el año 2016

Se propone intervenir los bloques con un área efectiva mayor a 1,5 hectáreas de manera inicial, siendo estos los bloques: 5, 6, 8, 10, 12, 13, 14 y 15.

Se descartan para esta propuesta los bloques 1, 2, 3, 4 y 11, a pesar de que quedará a criterio del ICE una posterior incorporación en las prácticas de manejo de estas áreas.

Propuestas:

Realizar los cortes por encima del primer nudo basal como se ilustra más adelante.

Respecto a la altura y sitio de corte se deben tomar en cuenta las condiciones básicas para el aseguramiento de la calidad de la guadua, para evitar la acumulación de agua, la cual deteriora los rizomas por acción de la humedad ocasionada por la acumulación de agua en los segmentos del tallo localizados sobre el rizoma. Época de corte en cuanto al periodo lunar, hora de cosecha y tiempo que debía quedar la guadua dentro del guadual para asegurar su durabilidad (VER ANEXO 3)

De acuerdo a este estudio se determinó que la fase Lunar Menguante es donde se da mayor % de aprovechamiento (84% con respecto a las demás fases lunares), hora de corte, se da en oscuridad (80%); tiempo de maduración de 20 días (72%).

Se considera un guadual racionalmente manejado aquel cuya población de guaduas maduras oscila entre el 60% y 75% una vez que se ha hecho el primer aprovechamiento.

Aprovechamiento de la guadua:

1. Eliminación de malezas, bejuco y ganchos de guadua debidamente repicados, amontonados en la periferia del guadual, esto para obtener mayor rendimiento en labores de extracción y disminuir los riesgos de los operarios.
2. Entresaca: extracción de las guaduas secas y dañadas tanto en pie como caídas, extracción de las guaduas sobre maduras y maduras.
3. La distribución de los tallos remanentes debe quedar uniforme, de manera que no queden claros ni sobrecarga en pie.
4. La guadua debe cosecharse cuando está madura, la cosecha se realiza entre el primer y tercer día de menguante entre las 12 de la noche y 6 de la mañana antes de que aparezcan los primeros rayos de sol, hora en la cual las guaduas tienen menores contenidos de agua y concentración de carbohidratos. El corte debe hacerse con machete o serrucho, a ras del primer nudo que emerge de la superficie del suelo. L
5. Periodo de maduración dentro del guadual no inferior a 20 días.

Distribución de residuos: Repicar y amontonar todos los subproductos del aprovechamiento.

Perea et al. 2013. Evaluación y documentación de prácticas sobresalientes sobre manejo de guadua (CITA Evaluación y documentación de prácticas sobresalientes sobre el manejo de la cosecha y maduración de la guadua en el departamento del huila. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Perea, J; Villegas, J; Cequera, Y; Cortés, M. 2003.

2. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3. RESUMEN EJECUTIVO

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) posee cerca de 55 hectáreas plantadas con bambú (*Guadua angustifolia* principalmente) alrededor del embalse Arenal, el cual es el reservorio primario de agua del proyecto hidroeléctrico más importante para Costa Rica desde el punto de vista de generación de energía eléctrica. Entre los objetivos iniciales para el establecimiento de dichas plantaciones en los años 1990 se encontraba la protección del suelo de la erosión, disminución de sedimentos arrastrados al embalse y la salvaguarda de las tierras, todos con impactos directos e indirectos sobre la generación de energía eléctrica del proyecto.

Diagnósticos realizados en estos sitios sugieren que a la fecha se cuenta con una alta mortalidad de los individuos de bambú, un estado estructural deficiente y una evidente falta de mantenimiento, lo cual compromete la sobrevivencia de los rodales, poniendo en peligro los beneficios directos e indirectos que busca el ICE obtener por medio de la presencia de esta cobertura.

Se pretende elaborar una estrategia para restaurar las condiciones de protección hidrológica forestal que brinda la cobertura de bambú en las áreas aledañas al embalse Arenal. Para tal fin se realizará una propuesta para la aplicación de técnicas de manejo y restauración de acuerdo al estado actual de dichos rodales, tomando como base mediciones en campo y valoración de experiencias adquiridas a lo largo del país. Adicionalmente, se espera que los resultados obtenidos por medio del presente proyecto permitan generar información adicional como tasas de crecimiento y generación de biomasa de la especie, potencial de regeneración, entre otros aspectos importantes para la toma de decisiones de parte de las instituciones interesadas.

4. BIBLIOGRAFÍA (SEGÚN NORMAS IICA)

- Aldrich, M; Belokurov, A; Bowling, J; Dudley, N; Elliott, C; Higgins-Zogib, L; Hurd, J; Lacerda, L; Mansourian, S; McShane, T. 2004. Integrating forest protection, management and restoration at a landscape scale. Gland, CH.WWF International. 20 p.
- Araya, A. 2005. Situación actual del entorno del lago Arenal. Revista Reflexiones 84(2): 71-77.
- Betancourt, M; Álvarez, M; León, J. 2009. El cultivo del bambú y sus beneficios al medio ambiente (en línea). Colombia. Consultado 23 mar. 2016. Disponible en http://www.actaf.co.cu/revistas/revista_ao_95-2010/Rev%202009-3/25%20Bambu.pdf
- Carmiol, V. 2009. Bambú Guadua: un recurso ecológico. Revista Tecnología en marcha. 22 (3):3-10.
- Castaño, F; Moreno, R. 2004. Guadua para todos: Cultivo y Aprovechamiento. Bogotá, CO. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 188 p.
- Cerdá, E. 2013. Energía obtenida a partir de biomasa (en línea). Madrid, ES. Consultado 23 mar. 2016. Disponible en http://www.revistasice.com/CachePDF/CICE_83_117-140_78E2E154C2BB213409D09C083013930C.pdf

- Chavarría, M. 2011. Evaluación de áreas reforestadas en el año 2011 y cuantificación de carbono almacenado en bloques plantados con bambú en los terrenos aledaños al embalse Arenal, propiedad del Instituto Costarricense de Electricidad. Heredia, CR. Universidad Nacional. 68 p. *Sin publicar*.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2010. Proyectos de restauración hidrológica-ambiental de cuencas hidrográficas y su importancia para REDD. México. Centro de Migración y Desarrollo Internacional. 23 p.
- DABI (Dirección Administrativa de Bienes Inmuebles). 2011. Capas de información geográfica del embalse Arenal, formato shape. Instituto Costarricense de Electricidad.
- Deras, J. 2003. Análisis de la cadena productiva del bambú en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 129 p.
- ENCE (Grupo Empresarial Ence). 2010. El valor de la biomasa forestal (en línea). España. Consultado 23 mar. 2016. Disponible en http://www.ence.es/pdf/Biomasa_forestal.pdf
- Endesa Educa, ES. 2014. Centrales de biomasa (en línea). Consultado 23 de mar. 2016. Disponible en http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/produccion-de-electricidad/xiv.-las-centrales-de-biomasa
- Fernández, E. 1998. Complejo hidroeléctrico Arenal : Arenal-Corobici-Sandillal y zona de riego. Patrimonio y futuro. San José, CR, Museo Histórico Tecnológico del Grupo ICE.
- Fernández, D. 2011. Guía práctica para control de erosión superficial en taludes usando vegetación nativa de Costa Rica. Tesis Lic. San José, CR, Universidad de Costa Rica. 237 p.
- Ferrer, M. 2006. La restauración hidrológica forestal. Revista Forestal no 43: 12-18.
- Francke, S. 2004. Seminario internacional: Restauración hidrológico forestal para la conservación y aprovechamiento de aguas y suelos (en línea). Consultado 25 abr. 2012. Disponible en <http://www.colsan.edu.mx/investigacion/aguaysociedad/proyectogro2/Biblioteca/Bibliografia/M%F3dulo%204/Restauraci%F3n-Chile.pdf>.
- García, W. 2005. Visita plantaciones bambú – Guadua sp, área de amortiguamiento embalse Arenal: Informe técnico de Unidad de Manejo de Cuencas. Instituto Costarricense de Electricidad. San José, CR. 12 p.
- Giraldo, E; Sabogal, A. 1999. Una alternativa sostenible: La guadua. Quindío, EC. Corporación Autónoma Regional del Quindío. 192 p.

- Gómez, F. 2002. Evaluación de la erosión potencial y producción de sedimentos en tres cuencas de Costa Rica. San José, CR. UCR. 191 p.
- Guijarro, R; Cantero, B; Muñoz, M; Cantero, F. 2004. Ayudantes técnicos de medio ambiente de la Junta Andalucía. Madrid, ES. Editorial Mad. 536 p.
- ICE (Instituto Costarricense de Electricidad). 1998. El complejo hidroeléctrico Arenal: Arenal-Corobicí- Sandillal y Zona de Riego. San José, CR. Subgerencia Gestión Institucional de Energía. 11 p.
- ITCR (Instituto Tecnológico de Costa Rica). 2008. Atlas Digital: capas de información de zonas de vida, precipitación, elevación, suelos y relieve. Formato digital.
- Kenefic, L; Bataineh, M; Wilson, S; Brissette, C; Nyland, D. 2014. Silvicultural rehabilitation of cutover mixedwood stands. *Journal of Forestry* 112(3): 261–271.
- Kochhar, S. 2008. Germplasm survey, collecting and characterization of bamboo species. National Bureau of Plant Genetic Resources (en línea). Consultado 8 Nov. 2011. Disponible en http://www2.bioversityinternational.org/publications/Web_version/572/p082.gif
- Kollert, W. 2014. Restauración y rehabilitación de bosques (en línea). Consultado 21 mayo 2017. Disponible en <http://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules/forest-restoration-and-rehabilitation/basic-knowledge/es/>
- Londoño, X. 2001 La Guadua, un bambú importante de América. *Revista PROCANA* no. 56:10-14
- Madriz, P; Orozco, L. 2004. Bambú como planta (en línea). Turrialba, CR. CATIE. Consultado 9 nov. 2011. Disponible en <http://web.catie.ac.cr/guadua/default.asp>
- Maglianesi, M. 2010. El uso de especies vegetales exóticas como una estrategia de restauración ecológica. *Revista Biocenosis*. 23(2):6-12.
- Maoyi, F. 2007. Sustainable management and utilization of sympodial bamboos. China. Huayu Nature Book Trade Co. 209 p.
- MARM (Ministerio de medio Ambiente medio Rural y Marino). 2010. Actuaciones de restauración hidrológica forestal en el principado de Asturias (2002-2010). Madrid, ES. Dirección General de Política Forestal. 15 p.
- Mendoza, A; Vargas, J; Gómez, A. 2005. Distribución de biomasa, productividad primaria neta, área y captura de carbono en una plantación de *Bambusa oldhamii*. Veracruz, MX. s.n.t. 74 p.

- Montiel, M. 1998. Cultivo y uso del bambú en el neotrópico. San José, CR. Editorial de la Universidad de Costa Rica. 86 p.
- Montiel, M; Jiménez, J; Guevara, E. 2006. Caracterización anatómica ultraestructural de las variantes "Atlántica", "Sur" y "Cebolla" del bambú, *Guadua angustifolia* (Poaceae: Bambusoideae), en Costa Rica. *Revista Biología Tropical*. 54(2):1-12.
- Ortiz, D; Fonseca, W; Rojas, M; Chavarria, M; Alvarado, J. 2014. Carbon storage on unmanaged bamboo plantations in Costa Rica. *Prague, CZ. Tropentag*. 10 p.
- Pérez, A; Calvo, O. 2008. La importancia del manejo de la cuenca del río Reventazón. San José, CR. Instituto Costarricense de Electricidad. 16 p.
- Qisheng, Z; Shenxue, J; Yongyu, T. 2003. Industrial utilization on bamboo (en línea). Consultado 8 nov. 2011. Disponible en: http://www.inbar.int/publication/pdf/INBAR_Technical_Report_No26.pdf
- Ríos, C. 2009. Bambú - *Guadua angustifolia* Kunth. Bosques Naturales en Colombia y Plantaciones Comerciales en México. Pereira, CO. 720 p.
- Robledo, W. 2003. Pago por servicios ambientales para la implementación de sistemas agroforestales en áreas críticas de las cuencas generadoras de energía eléctrica María Linda y Los Esclavos, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 174p.
- Salas, E. 2006. La *Guadua angustifolia* el bambú colombiano: actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia (en línea). Barcelona, ES. Consultado 22 mayo 2017. Disponible en <https://es.scribd.com/document/50887896/LA-GUADUA-ANGUSTIFOLIA-EL-BAMBU-COLOMBIANO>
- Schroder, S. 2011. Costa Rica reforestation (en línea). Consultado 1 nov. 2011. Disponible en <http://www.guaduabamboo.com>
- Sepúlveda, I; Rodríguez, J; Camargo, J. 2004. Beneficios ambientales de la *Guadua angustifolia* en la protección del suelo en el eje cafetero colombiano. *Acta Agronómica*. 58(3):1-5.
- Suarez, J. 2001. Control de erosión en zonas tropicales. Bucaramanga, CO. Ediciones Universidad Industrial de Santander. 556 p.
- Trejos, G; Serrano, J. 2007. Desarrollos tecnológicos para la producción, industrialización y comercialización del bambú (*Guadua angustifolia*) creciendo en los alrededores de la Laguna del Arenal (Informe final). Cartago, CR. ITCR. 74 p.

- UNA (Universidad Nacional). 2013. Gaceta Ordinaria N°01-2013 (en línea). Consultado 21 feb. 2017. Disponible en <http://www.documentos.una.ac.cr/handle/unadocs/1561>
- Young, S; Judd, W. 1992. Systematics of the *Guadua angustifolia* complex (Poaceae: Bambusoideae). Missouri, US. 769 p.

5. ANEXOS (SEGÚN NORMAS IICA)

**La extensión del documento no debe sobrepasar las 150 páginas sin considerar anexos.
Anexo 1.**

Adjusted models for individual culm biomass of guadua bamboo (*Guadua angustifolia* Kunth) in managed stands in Southern Costa Rica

Elemer Briceño Elizondo

Keywords: *Guadua angustifolia* Kunth, carbon, biomass, management, forest modelling

Abstract.

This study aims to adjust field data to non-linear models in order to predict growth and estimate biomass accumulation according to allometric data of managed bamboo plantations from productive sites. The plantation is located near the community of Río Claro in the district of Guaycará, Canton of Golfito, Province of Puntarenas, Costa Rica. It is well established under management, and despite its young age (3 years) already has a canopy closure. Five stands were identified for the study, with three of them used for calibration and two for model validation. A classification by height cohort was needed in order to organize the database for better model adjustment; namely H¹: 0 to 4m., H²: 4.01 to 7m., H³: 7.01 to 10 m., H⁴: higher than 10.01 m. The inventory data was fit through non-linear regression to three selected biomass models used in previous bamboo biomass studies. The predicting variables used were diameter, height and basal area.

The quality of model prediction was tested using a Wilcoxon test for paired samples; the empirical biomass from the validation data set was paired to model predictions from the three models. Predictions from model B^{m1}, B^{m2} and B^{m3} are not significantly different from empirical data ($p = 0.7064, 0.7735, 0.8822$ respectively). Only B^{m1} tends to overestimate but the range is acceptable for the prediction. The empirical biomass per hectare does not vary greatly when using the models to compile the amount of Mg ha⁻¹ which consider also the actual density in the stands per maturity stage. The resulting stratification aided to obtain reliable biomass models for young culms; however, the model B^{m1} cannot be reliable when predicting biomass for sprouts at low height cohorts, the p values obtained demonstrate that the models are sensitive to data variation. The previous might be explained by the fact that the culm, has not yet reached total height, and the variation for height is too large; since B^{m1} is based only on DBH for its prediction, it leaves this variable out which still has an influence on model prediction.

The average results here obtained 12.49, 12.82 and 12.9 Mg ha⁻¹ of biomass for B^{m1}, B^{m2} and B^{m3} respectively, are lower to those found by other authors in Moso bamboo forest of southern China where they found 8.13 ± 2.15 Mg ha⁻¹ yr⁻¹. Although the comparison is against another species and different maximum age of the plantation (5 years in Moso compared to 3 years) it can be suggested that, as in trees, a range of biomass according to age, management and dimensions is expected.

Resumen

Este estudio tiene como objetivo ajustar datos de campo a modelos no lineales con el fin de predecir el crecimiento y estimar la acumulación de biomasa en plantaciones de bambú bajo manejo en sitios productivos. La plantación está ubicada cerca de la comunidad de Río Claro en el distrito de Guaycará, Cantón de Golfito, Provincia de Puntarenas, Costa Rica. La plantación se encuentra bien establecida bajo manejo, y a pesar de su corta edad (3 años) ya presenta cierre del dosel. Cinco rodales fueron identificados para el estudio, con tres de ellos utilizados para la calibración y dos para la validación de modelos. Una estratificación por cohorte de altura fue necesaria para organizar la base de datos a un mejor ajuste; a saber H¹: 0 a 4 m., H²: 4,01 a 7 m., H³: 7,01 a 10 m., H⁴: superior a 10,01 m. Los datos de inventario se ajustaron mediante regresión no lineal a tres modelos de biomasa seleccionados utilizados en estudios anteriores de biomasa de bambú. Las variables predictivas utilizadas fueron diámetro, altura y área basal. La calidad de la predicción del modelo se probó mediante la prueba de Wilcoxon para muestras pareadas; la biomasa empírica de la base de datos usada en validación se emparejó a las predicciones modelo de los

tres modelos. Las predicciones de los modelos B^{m1} , B^{m2} y B^{m3} no son significativamente diferentes de los datos empíricos ($p = 0.7064, 0.7735, 0.8822$ respectivamente). Sólo B^{m1} tiende a sobrestimar, pero el rango es aceptable para la predicción. La biomasa empírica por hectárea no varía mucho cuando se utilizan los modelos para compilar la cantidad de $Mg\ ha^{-1}$ que considera también la densidad real en los rodales por estado de madurez. La estratificación ayudó a obtener modelos fiables de biomasa para culmos jóvenes; Sin embargo, el modelo B^{m1} no puede ser confiable cuando se predice la biomasa para brotes en cohortes de baja altura, los valores de p obtenidos demuestran que los modelos son sensibles a la variación de datos. Lo anterior podría ser explicado por el hecho de que el culmo todavía no ha alcanzado la altura total, y la variación de la altura es demasiado grande; ya que B^{m1} se basa sólo en DBH para su predicción, lo que deja esta variable fuera que todavía tiene una influencia en la predicción del modelo.

Los resultados promedio obtenidos aquí son 12,49, 12,82 y 12,9 $Mg\ ha^{-1}$ de biomasa en los modelos B^{m1} , B^{m2} y B^{m3} respectivamente, son mayores a los encontrados por otros autores en bosques de bambú Moso en el sur de China donde encontraron $8,13 \pm 2,15\ Mg\ ha^{-1}\ Año^{-1}$. Aunque la comparación es con otra especie y la edad máxima es diferente de la plantación (5 años en Moso en comparación con 3 años) se puede sugerir que, al igual que en árboles, se espera un rango de biomasa según edad, manejo y dimensiones.

Introduction

The renewed interest in the establishment, management, use and trade of guadua bamboo (*Guadua angustifolia* Kunth) for construction and other uses has led to a revival in interest in this natural resource, at a higher level than previously achieved. The genus *Guadua spp* is the most representative with the one with the greatest impact on human activities, since it brings together the largest and most economically important species of tropical America. This genus has more than thirty species, which are distributed from Mexico to Argentina, and are found from low elevations up to 2000 m (Judziewicz et al., 1999). Its geographic distribution is mainly related to temperature, since it does not tolerate prolonged periods of very cold temperatures (Londoño, Camayo, Riaño, and López, 2002).

In Costa Rica, the most successful crops of the *Guadua* genus are between 240 and 500 m altitude, in areas with average annual rainfall of 3000- 4000 mm. It is difficult to determine the precise origin of the species and variations of guadua present in Costa Rica. It is suspected that some were directly imported from Colombia, Brazil and Peru (Montiel Jiménez and Guevara, 2006). As Montiel and Murillo (1998) indicate, very particular morphological variations, identify the variations locally known as "South" due to being planted mostly in the southern region and "Atlantic" due to the same reason. There is a palpable development of the species in the Atlantic region as well as the South region of Costa Rica. Other areas have presence of guadua and other bamboo species, but not to the commercial avail found on these other two areas of the country. The level of organization varies from region to region as well; the south region shows successful enterprises working in the furniture industry, added value products, and culm length sales (Retana 2015¹), as well as organized cooperatives planting the species along other crops in hopes of a potential market (Arguedas, 2014). Many producers have been also encouraged to establish plantations within the scope supplying raw material to new potential products with high added value (FONAFIFO 2017²). The Atlantic region has many successful plantations with varying degrees of management, sometimes associated to old banana plantations, enterprises promoting and planting the species as well as the biggest guadua plantation in the country. Other areas, present important plantations but not managed to a productive scale; such as the mosaic of bamboo plantations established twenty-one years ago on land adjacent to the Arenal hydroelectric dam, splitting these areas between the province of

¹ Retana 2015. Comunicación personal.

² FONAFIFO 2017. Comunicación personal.

Guanacaste and Alajuela. The reforestation was established in blocks of irregular shape of varying sizes to work as erosion control, albeit with no management received as of today (Fonseca and Rojas 2016). Bamboo growth patterns makes the sprouts to reach their full size within the first growing season. Such growth varies widely among species, and the range of sizes among different bamboo species may be an analog to the range of size of a non-bamboo tree species due to its growth with age. Bamboo subfamily (Bambusoideae) consists of 1250 species within 75 genera, all of which are relatively fast-reproducing, and a newly established stand can become fully stocked within five years (Liu et al 2016). Most published studies on bamboos have been focused on their known uses however given their fast growing rate they have also achieved attention as a potential bio-energy crop (Chen, Zhou and Zhang, 2014). Once full dimensions are achieved, the bamboo culms enter a period of fiber maturity which can last up to 7 years depending on the species, after which they deteriorate rapidly, releasing carbon back into the atmosphere (Liese, 2009). Therefore in a natural state, bamboo will reach a stable level of above ground carbon relatively quickly, where carbon accumulation through sequestration is counter off when decay comes. In order for the bamboo system to continue to be a net sink, carbon has to be stored in other forms, so that the total accumulation of carbon in a solid state exceeds the carbon released to the atmosphere. Chapters 7 and 8 discuss these questions, amongst other issues that can affect the length of storage of carbon. (Düking and Liese, 2011).

In several studies, generally, at ages between five and seven years, a high variability of culms per hectare is reported; for example, from 5090 to 9416 culms ha⁻¹ according to Arango-Arango and Camargo (2010), 11 827 ± 3884 culms ha⁻¹; according to Camargo-García, Rodríguez y Arango. (2010), 4050 culms ha⁻¹ and 10101 culms ha⁻¹ in the work of Castañeda-Mendoza, Vargas-Hernandez, Gomez-Guerrero, Valdez-Hernandez, Vaquera-Huerta (2005). A relation between bamboo growth and climate is not a function of the bamboo productivity, instead it is determined by the capacity of biomass accumulation of the site both in the above-ground living biomass and the below-ground carbon stock, where a large accumulation of carbon occurs in the aerial part (Isagi, 1994).

The objective of this study is to adjust models of bamboo growth in order to predict growth and estimate biomass accumulation according to allometric data and the potential for carbon sink of managed bamboo plantations in a productive site in southern Costa Rica.

Material and methods

Study area

The selected plantation (8°71'N, -83°09'O) is located near the community of Rio Claro in the district of Guaycará, Canton of Golfito, Province of Puntarenas, Costa Rica. (Figure 1). The site is property of a bamboo producing company with a large trajectory of bamboo planting, silviculture and commerce. Elevation is between 200 and 300 meters above sea level; the annual rainfall is between 4000 to 5000 mm with an average temperature of 25°C. The bamboo area has different strata, which are differentiated by topography and age; with an area of 11.74 ha total. The property includes other vegetation coverage, classified official as non-forest land, forest and part of secondary forest. Soils are classified as entisols and inceptisols (suborder orthens and udepts).

Figure 1. Site location within the Guaycará district of the 3 year old guadua bamboo plantation. The terrain presents an evident deposition of organic matter, rocky outcropping all around the stand, but well planned and maintained inner roads.

Management regime

The site received intensive and meticulous management; the silvicultural practices include early elimination of primordial shoots, thinning of small culms, and pruning and bud control. The stand is well established, and despite its young age (3 years) already has a canopy closure (Figure 2). These practices took place after the first year of establishment to guarantee that the clump has already establish itself on the site. Normally only commercial shoots are left to reach 11 ± 4 culms in average at each clump. Thinning was designed to maintain a desired culm density per hectare, the average culm density of the plantation is 1942 culms ranging from 1105 culms in one strata up to 3166 in the denser strata. Thinning schedule and intensity followed recommendations based upon inventory data for 2015. Initial weed control takes place at establishment with a proper weeding for each individual, followed by manual control until canopy closure. Bud control consists of the mechanical impediment of branch expansion, where a light punch is applied to the branch bud before the branch's emergence, facilitating later handling of the culm and saving management costs. Not all branches are treated as such due to the need of a healthy canopy, thus pruning is necessary before harvest, in order to facilitate extraction.

Figure 2. Managed *Guadua angustifolia* clump within Guaycará plantation of three years of age.

Inventory Data (2015-2016)

The sampling method was a modification of triplet sampling method for individual trees (Murillo-Gamboa, Badilla-Verde y Morales-Salazar, 2014), renamed here "Individual Clump Method" (ICM). Five stands were identified for the study within the plantation (Table 1), with three of them used for calibration (1, 4, and 7) of the models and two for model validation (5, 6). The separation of the stands was based purely on administrative boundaries within the plantation, following slope arrangements, the previous facilitated management activities and served as a way of stratification. All stands had the same age and received the same management. The sampling unit is made up of a clump with all its culms. The initial clump is randomly chosen, and then according to the defined sampling intensity sampling continues up to the next fixed determined clump. For a 2% sampling intensity, a clump is chosen each 50 clumps ($100/2 = 50$) and for a 4% a unit is selected every 25 clumps ($100/4 = 25$). Once at the selected clump, all culms are measured taking information on culm diameter, height, state of maturity, and sanitary state. The number of culms measured in this method is equivalent to the establishment of a plot of 500 m² where culms are randomly distributed throughout the stand (Murillo et al, 2014).

Table 1. Mean DBH, height and stand characteristics for *G.angustifolia* plantation within Guaycará district used for model calibration.

The difference of this method being applied to a bamboo plantation from a tree plantation lies in the fact that the point of measurement yields data from many individual culms, allowing to capture more variation and information. This method is applicable to a plantation that has not lost its clump differentiation and is small in size. The method requires to survey the entire stand from start to finish by foot. Since all clumps in the plantation or stand are counted, it is possible to estimate the total number of culms and at the same time their state of maturity, which can then be extrapolated to hectare, namely:

$$\frac{\sum n^i * 100}{i\%} \quad [1]$$

$$\frac{n^i}{i\%} = \frac{x}{100\%} = N^i/ha \quad [2]$$

Where: nⁱ: total culms in the clump or per state of maturity

$p\%$: sampling intensity.

For the determination of empirical biomass and carbon, data from the inventory was used in combination with reported factors from literature for wall thickness, taper and bamboo wood density (Morales-Pinzón, Durán, Alzate, 2012). The volume of the cylinder was first used, then allometrically reduced using the taper factor, to get apparent volume. This was reduced by taking into account the average wall thickness reported for the species (Widmer 1990), in order to eliminate the "empty" volume of the interior of the culm. The inner empty volume was subtracted to get real volume present for the bamboo culm. The information on the specific weight of the species (IPCC 2006) for conversion is used to get biomass of the culm. Other components are left aside since there is not reliable information and the rhizome and leave remain at the site.

$$B_{ci}^{si} = \frac{\pi}{2} * \left(\frac{d_{ci}^{hi}}{100} \right)^2 * H_{ci}^{hi} * ff_g * D_{kg} \quad [3]$$

Where: B = empirical biomass of culm i within strata i (kg).

d_{ci}^{hi} = diameter of culm i within strata i (cm).

H_{ci}^{hi} = height of culm i within strata i (m).

ff_g = taper factor for *G. angustifolia*.

D_{kg} = specific density in kg m⁻³.

A classification by height cohort was needed in order to organize the database for better model adjustment; namely H¹: 0 to 4m., H²: 4.01 to 7m., H³: 7.01 to 10 m., H⁴: higher than 10.01 m (Table 1). The stratification of the database in these cohorts allows for a more precise model parameterization given than a single culm, according to the date of data collection will exhibit a height which will change in time, keeping however the same diameter from emergence to harvest. Three stands were used for model calibration and two for model validation.

Model selection and model adjustment.

The inventory data was fit through non-linear regression to three selected biomass models (equations 4-6) used in previous bamboo biomass studies. The predicting variables used were diameter (Yen et al 2010: equation 4), diameter and height (Yen and Lee, 2011: equation 5) and basal area (Fonseca and Rojas 2016: equation 6). The previous cohort stratification was declared in model adjustment for the calibration runs

$$B^{m1} = a * DBH_{ci}^{hj^b} \quad [4]$$

$$B^{m2} = a * DBH_{ci}^{hj^b} * H_{ci}^{hi^c} \quad [5]$$

$$B^{m3} = a + b * G_{ci}^{hj} \quad [6]$$

Where: $B^{m1,2,3}$ = Biomass model (kg).

DBH_{ci}^{hj} = diameter at breast height of culm i within height cohort j (cm).

H_{ci}^{hj} = height of culm i within height cohort j (m).

G_{ci}^{hj} = basal area of culm i within height cohort j (m²).

a,b,c= parameters.

Sum of strata and Carbon calculations

Data from the inventory, model validation runs were sum up by stand and extrapolated to hectare basis in order to give an estimate of the carbon reservoir present and carbon sequestration potential of a well-

managed plantation. These data were compared to empirical biomass present in the calibration stand by means of an analysis of variance.

Results

Model runs

Inventory data was fit to the selected models to approximate its variables; the results are presented in table 2. Allometric non linear models were fit to empirical biomass to approximate the constants for each model for each cohort. The p-values show significance for each constant used in the models ($p < 0.05$). The values were fit to respond to height cohorts and stage of maturity. An important difference among the models tested is the type of variable used, where in one of the models occupancy of the site takes relevance over individual dimension. The number of individuals to make sprout biomass predictions were less than for young culms due to the dynamics of bamboo stands, where it is expected to have less sprouts than young or mature culms at any age of the stand.

Table 2. Culm biomass estimation models for *Guadua angustifolia* Kunth, using non-linear regression, for different stages of maturity and height cohorts. Biomass is expressed in kg

Validation

The stand characteristics of guadua bamboo used in the validation of the models is presented in table 3. The average DBH and height were divided into the height cohorts by stage of maturity, following the cohort separation used for calibration. The average DBH is higher in sprouts independently of the cohort, signaling that the new recruited culms have obtained the occupation capacity needed for bigger dimensions due to the absence of competition from older culms in the clump, influencing the new culms to reach higher dimensions; this is consistent with the correlation of mean DBH and stand density, where at lower density a higher DBH can be expected. The dimensions ranged from $2,87 \pm 1,07$ up to $10,80 \pm 0,99$ in stand 5 and from $2,78 \pm 1,26$ up to $12,00 \pm 0,001$ cm in stand 6. Some cohorts did not show data for sprouts due to aspects of presence in that height category.

Table 3. Mean DBH, height and stand characteristics for *G.angustifolia* plantation within Guaycará district used for model validation.

The quality of model prediction was tested using a Wilcoxon test for paired samples; the empirical biomass from the validation data set was paired to model predictions from the three models. Table 4 shows that predictions from model B^{m1} , B^{m2} and B^{m3} are not significantly different from empirical data ($p = 0.7064$, 0.7735 0.8822 respectively). Predictions between models were also tested to realize differences on the number of variables or variables used; only B^{m1} and B^{m3} showed significance for their predictions ($p = 0,0272$).

Table 4. Wilcoxon test for paired samples, between empirical biomass (EB) and adjusted culm biomass models for *G.angustifolia* Kunth in the Guaycará site in Southern Costa Rica.

This difference in model prediction between B^{m1} and B^{m3} can be observed in figure 3, where individual average biomass per culm is shown. Estimations are also shown per cohort with the typical error for the prediction. Only B^{m1} tends to overestimate but according to table 4 the range is acceptable for the prediction. The aim of model building is to have adequate culm biomass prediction which can be deducted from inventory data; the total biomass per hectare will depend on site density, which is a product of management.

The necessity to separate the models by cohort can be reflected on the behavior observed on figures 4 through 7 where it can be seen the agreements for the models with empirical data; model accuracy is better when the culm has finished its vertical growth as related to cohort 4.

Sum strata and extrapolation to hectare

The usefulness of the models however is finally realized when the values per hectare are calculated. The biomass per hectare can be seen in table 5, where it can be seen that the empirical biomass does not vary greatly when using the models to compile the amount of Mg ha^{-1} which consider also the actual density in the stands per maturity stage the biomass in stand. Stand 5 has a higher density than stand 6; where $8.7 \pm 0.15 \text{ Mg ha}^{-1}$ of biomass are accumulated in empirical data and 8.55 ± 0.15 , 8.88 ± 0.14 , $8.35 \pm 0.14 \text{ Mg ha}^{-1}$ of biomass are present when using B^{m1} , B^{m2} and B^{m3} respectively for 1185 young culms ha^{-1} . The amount of biomass for young culms in stand 6 is lower than stand 5 as mentioned before, where the density reaches 985 culms ha^{-1} ; reporting 6.98 ± 0.12 for empirical data and 6.89 ± 0.11 , 7.01 ± 0.12 , $6.72 \pm 0.11 \text{ Mg ha}^{-1}$ of biomass for B^{m1} , B^{m2} and B^{m3} respectively. Sprout biomass has lower values due to the lower density of this maturity stage, where stand 5 and 6 have 173 and 148 culms ha^{-1} respectively; however, B^{m3} shows higher biomass accumulation than the empirical data and the other two models. Table 5. Mean empirical and modeled biomass (Mg ha^{-1}), and mean culms ha^{-1} for *G.angustifolia* Kunth for *G.angustifolia* Kunth in the Guaycará site in Southern Costa Rica.

Discussion

Biomass estimation is a step stone to quantify the amount of carbon locked into the biosphere. Such information aids on knowing the changes that occur when the forest is intervened, tracking changes in the carbon stocks of forest and as a way to fulfill international commitments on information on national carbon stocks. Direct method (destructive techniques) and indirect method (biomass equations) are generally used for biomass estimation of forests. Indirect methods such as biomass equations are less time consuming and more cost effective when compared to destructive methods, making them attractive tools in forest inventories. Different linear and non-linear models have been developed worldwide for estimating biomass, however due to the natural patterns of growth of most woody species, nonlinear equations are better suited for biomass estimation (Kaushal et al 2016).

The present study aims at adjusting nonlinear equations to predict *G.angustifolia* culm biomass in managed stand for the species at a key site in southern Costa Rica. The selection of the models to use was based on previous studies on Moso bamboo, a very known and commercial species in Asia (Yen et al 2011, Yen et al 2010) and a study base on allometry for *G.angustifolia* in northern Costa Rica (Fonseca and Rojas 2016). There are many studies on allometric models for tree species, however bamboo seems neglected, despite being regarded as a woody plant; its growth patterns of woody bamboos are different from timber in that the former possess a woody vascular bundle structure of fast growth while the latter has clear tree rings (Yen et al, 2011). Therefore, the use of models tested in some important species are of interest for *G.angustifolia* as well as models for the species which have been tested under different conditions, in order to project their usefulness with other management systems in the country.

The parameters for the models used depend on the nature of the data, therefore it was necessary to stratify the database to obtain a better fit of the model due to the dispersion of the data, as observed in the differences in DBH and height among the cohorts in the three stands used in calibration (Table 1); equally this helps to better approximate model validity by focusing on a realistic number of culms that will endure until harvest or biological age is reached. The resulting stratification aided to obtain reliable biomass models for young culms; however, the model B^{m1} cannot be reliable when predicting biomass for sprouts at low height cohorts, the p values obtain demonstrate that the models are sensitive to variable variations (table 2). The previous might be explained by the fact that the culm, has not yet reached total height, and the variation for height is too large; since B^{m1} is base only on DBH for its prediction, it leaves this variable out when it can be seen that it can have an influence on the parameters and the prediction potential of the model. A similar situation is seen in B^{m3} for the first cohort, where the model is based on basal area only. Other cohorts for this models seem to work adequately, whilst B^{m2} includes height and is not subject to this source of variation. The models used in Yen et al 2010, 2011 are similar in terms

of management and size as for the one suggested in Fonseca and Rojas 2016 has similar size and weather conditions but no management; however, its age has taken it to a self-thinning stage which controls density.

Validation data had therefore similar dimensions, since all management in the site was standard, with sprouts reaching higher DBH dimensions. That pattern of growth in most bamboos would indicate that the plantation is increasing its biomass with time, by means of recruiting new culms with higher diameters. As table 4 indicates, there is no significance between empirical data and the models, except when comparing B^{m1} and B^{m3} ; the previous indicates that for all models tested (against empirical data), the predictions can be considered reliable, with the given degree of variation, which is answerable on the fact that two of the three models exclude height as a predicting variable, nevertheless the models are useful. The comparison between models aids to check congruency on the simulations, and the difference might arise from the combination of the entire data set when carrying on the comparison, as it must be remembered that the models carry different behaviors per cohort. The latest can be observed in figures 4 through 7, where observed and simulated data tend to be exponential at lower height cohorts to latter show a tendency to climax in the higher cohort. The use of DBH to predict biomass is a general method that has been widely applied in the bamboo forests (Chen, Zhang, Zhang, Booth and He, 2009). This variable is the quickest and easiest available for allometry. In bamboo it is assumed that culm biomass accumulates mainly in the first year and then afterwards its biomass increased only slightly or not obviously compared with the same DBH; when other authors have used age, here a decision towards height stratification was followed to better approximate the levels of biomass variation, as the diameter within the same recruitment year might be similar if the same management is applied. This can be appreciated in figure 3, where the stratification shows a more accurate approximation for biomass.

The results here obtained (12.49 12.82 and 12.9 Mg ha⁻¹ of biomass for B^{m1} , B^{m2} and B^{m3} respectively), are a lower to those found by Yen et al 2011 in Moso bamboo forest of southern China where they found 8.13 ± 2.15 Mg ha⁻¹ yr⁻¹; although the comparison is against another species and different maximum age of the plantation (5 years in Moso compared to 3 years) it can be suggested that, as in trees, a range of biomass according to age, management and dimensions is expected. Management and soil conditions have an important role to play, the values in this study area subject to an intensive management which has its density from 1133 to 1358 culms ha⁻¹ (Table 5) as compared to 6500 to 7500 culms ha⁻¹ to that of Yen et al 2011, making them approximately 6 times lower in density than the Chinese bamboo forest. Studies in Costa Rica on plantations with high densities and zero management show values of $6\,473 \pm 10.8\%$ culms ha⁻¹ (all maturity stages) and 7.25 Mg ha⁻¹ for sprouts and young culms. One could argue the necessity of management here, however, 42.03 Mg ha⁻¹ are found within mature category (Fonseca and Rojas 2016), which did not get harvested, cramping growing space, and possibly possibilities to an optimized succession.

Allometric models are powerful tools that are widely applied to estimate volume, biomass and carbon storage of forests (Yen, Ji, Lee 2010, Yen, Lee 2011). As suggested by Zianis and Mencuccini (2004), the most common variable used to predict volume, biomass and carbon storage is DBH. Bamboo plantations have a dynamic of growth different from that of trees and an effort to incorporate models that work with site occupancy and biomass are more reliable than volumetric models.

References

- Arango-Arango, A.M., Camargo, J.C. 2010. Bosques de guadua del Eje Cafetero de Colombia: oportunidades para su inclusión en el mercado voluntario de carbono y en el Programa REDD+. Comunicación Técnica. Recursos Naturales y Ambiente, 61, 77-85. Recuperado de: <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/8445>.
- Arguedas, A. (2014). *Guadua angustifolia* Kunth: opción de diversificación productiva para productores en la Península de Osa, Costa Rica. Tesis de graduación. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 23 p.
- Camargo-García, J.C., Rodríguez J.A., y Arango, A.M. (2010). *Crecimiento y fijación de carbono en una plantación de guadua en la zona cafetera de Colombia*. Comunicación Técnica. Recursos Naturales y Ambiente. 61, 86-94.
- Castañeda-Mendoza, A., Vargas-Hernandez, J., Gomez-Guerrero, A., Valdez-Hernandez, J. I., & Vaquera-Huerta, H. (2005). Carbon accumulation in the aboveground biomass of a *Bambusa oldhamii* plantation. *Agrociencia*, 39(1), 107-116.
- Chen, D., Zhou, J., & Zhang, Q. (2014). Effects of heating rate on slow pyrolysis behavior, kinetic parameters and products properties of Moso bamboo. *Bioresource Technology*, 169, 313-319.
- Chen, X., Zhang, X., Zhang, Y., Booth, T., & He, X. (2009). Changes of carbon stocks in bamboo stands in China during 100 years. *Forest Ecology and Management*, 258 (7), 1489-1496.
- Düking, R., Gielis, J., and Liese, W. (2011). Carbon flux and carbon stock in a bamboo stand and their relevance for mitigating climate change. *J Am Bamboo Soc*, 24(1), 1-7.
- Fonseca-González, W. y Rojas Vargas, M. (2016). Acumulación y predicción de biomasa y carbono en plantaciones de bambú en Costa Rica. *Ambiente y Desarrollo*, 20 (38), 85-98. <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.ayd20-38.apbc> doi: 10.11144/Javeriana.ayd20-38.apbc
- IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. y Tanabe K. (eds). Publicado por: IGES, Japón.
- Kaushal, R., Subbulakshmi, V., Tomar, J. M. S., Alam, N. M., Jayaparkash, J., Mehta, H., & Chaturvedi, O. P. (2016). Predictive models for biomass and carbon stock estimation in male bamboo (*Dendrocalamus strictus* L.) in Doon valley, India. *Acta Ecologica Sinica*, 36(6), 469-476.
- Isagi, Y. 1994. Carbon stock and cycling in a bamboo *Phyllostachys bambusoides* stand. *Ecological Research* 9, 47-55.
- Liese, W. (2009). Bamboo as carbon sink-fact or fiction? *Journal of Bamboo and Rattan*, 8(3/4), 103-114.
- Liu, G., Shi, P., Xu, Q., Dong, X., Wang, F., Wang, G. G., & Hui, C. (2016). Does the size-density relationship developed for bamboo species conform to the self-thinning rule?. *Forest Ecology and Management*, 361, 339-345.
- Londoño, X., Camayo, G. C., Riaño, N. M., & López, Y. (2002). Characterization of the anatomy of *Guadua angustifolia* (Poaceae: Bambusoideae) culms. *Bamboo Science and Culture: The Journal of the American Bamboo Society*, 16(1), 18-31.
- Montiel, M. and Murillo, L. 1998. Historia ecológica y aprovechamiento del bambú. *Revista Biología Tropical*, 46(3):11-18
- Montiel, M., Jiménez, V. M., & Guevara, E. (2006). Caracterización anatómica ultraestructural de las variantes "Atlántica", "Sur" y "Cebolla" del bambú, *Guadua angustifolia* (Poaceae: Bambusoideae), en Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 54, 1-12. Recuperado de http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442006000500003&script=sci_arttext.
- Morales-Pinzón, T., Durán, L.F., Alzate, C.A. 2012. Contenido de humedad en guadua rolliza preservada y secada en invernadero. Comunicación Técnica. Recursos Naturales y Ambiente, 65-66, 45-50. Recuperado de: <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/7065>.

- Murillo-Gamboa, O., Badilla Valverde, Y., Morales Salazar, M. 2014. Método de inventario para plantaciones pequeñas. Métodos de enseñanza en Inventarios Forestales. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 16 p...
- Widmer, Y. 1990. Caracterización botánica de los bambúes del genero guadua utilizados por el proyecto nacional de bambú en la construcción de viviendas en Costa Rica. CATIE.
- Yen, T. M., Ji, Y. J., & Lee, J. S. (2010). Estimating biomass production and carbon storage for a fast-growing makino bamboo (*Phyllostachys makinoi*) plant based on the diameter distribution model. *Forest Ecology and Management*, 260(3), 339-344.
- Yen, T. M., & Lee, J. S. (2011). Comparing aboveground carbon sequestration between moso bamboo (*Phyllostachys heterocycla*) and China fir (*Cunninghamia lanceolata*) forests based on the allometric model. *Forest Ecology and Management*, 261(6), 995-1002.
- Zianis, D., Mencuccini, M. (2004). On simplifying allometric analyses of forest biomass. *Forest Ecology and Management*, 187(2), 311-332.

Table 1. Mean DBH, height and stand characteristics for *G.angustifolia* plantation within Guaycará district used for model calibration.

Stand	cohort	Stage of Maturity	DBH(cm)	Height (m)
1	1	J	3,50±1,98	2,85±0,85
		R	10,13±2,06	2,98±0,79
	2	J	4,58±1,50	6,05±0,91
		R	10,98±1,11	6,08±0,90
	3	J	6,54±2,48	8,59±0,72
		R	10,23±1,67	9,00±1,00
	4	J	9,15±1,70	12,81±0,91
		R	10,65±1,45	11,50±0,97
4	1	J	2,86±1,29	3,56±0,63
		R	10,15±2,37	2,69±0,63
	2	J	4,78±2,62	5,28±0,72
		R	11,17±1,43	5,71±0,95
	3	J	7,59±1,76	8,91±0,89
		R	9,45±1,04	9,17±0,75
	4	J	8,85±1,22	12,38±1,06
		R	8,90±0,83	12,00±0,82
7	1	J	3,17±1,71	3,46±0,64
		R	9,86±1,67	3,38±0,74
	2	J	4,32±1,84	5,39±0,74
		R	9,30±1,70	5,50±0,71
	3	J	7,28±1,13	9,05±0,79
		R	8,10±0,00	8,00±0,00
	4	J	7,29±1,09	11,40±0,75
		R	10,00±0,00	13,00±0,00

Table 2. Culm biomass estimation models for *Guadua angustifolia* Kunth, using non-linear regression, for different stages of maturity and height cohorts. Biomass is expressed in kg.

Model	Growth stage	Cohorts	N	Parameters						
				a	b	c	Cmerror	p-value (a)	p-value (b)	p-value (c)
B^{m1}	young	1	103	0.28	1.31	---	0.22	<0.0001	<0.0001	---
		2	140	0.49	1.31	---	0.5	<0.0001	<0.0001	---
		3	67	0.89	1.24	---	1.11	<0.0001	<0.0001	---
		4	59	1.2	1.26	---	1.96	<0.0001	<0.0001	---
	Sprout	1	24	0.25	1.32	---	1.85	0.2365	0.001	---
		2	21	1.48	0.84	---	2.94	0.1776	0.0106	---
		3	17	0.54	1.45	---	1.82	0.0115	<0.0001	---
		4	15	1.57	1.1	---	3.1	0.0172	<0.0001	---
B^{m2}	young	1	103	0.0645	1.4307	1.0642	0.0148	<0.0001	<0.0001	<0.0001
		2	140	0.0827	1.2816	1.0527	0.0356	<0.0001	<0.0001	<0.0001
		3	67	0.103	1.2003	1.02	0.0201	<0.0001	<0.0001	<0.0001
		4	59	0.1161	1.1674	0.9983	0.0102	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Sprout	1	24	0.1206	1.1476	1.0014	0.0004	<0.0001	<0.0001	<0.0001
		2	21	0.1262	1.1293	1.0002	0.0002	<0.0001	<0.0001	<0.0001
		3	17	0.124	1.1408	0.9957	0.0011	<0.0001	<0.0001	<0.0001
		4	15	0.1268	1.1293	0.9979	0.0017	<0.0001	<0.0001	<0.0001
B^{m3}	young	1	103	0.45	798.83	---	0.32	<0.0001	<0.0001	---
		2	140	1.32	1213.85	---	0.92	<0.0001	<0.0001	---
		3	67	3.68	1519.77	---	1.68	<0.0001	<0.0001	---
		4	59	6.46	1914.82	---	2.15	<0.0001	<0.0001	---
	Sprout	1	24	1.47	1914.82	---	1.89	0.1055	0.0002	---
		2	21	6.22	507.04	---	2.95	0.0016	0.009	---
		3	17	4.15	1408.14	---	1.78	0.0022	<0.0001	---
		4	15	9.51	1305.53	---	3.04	0.0001	<0.0001	---

DBH: Diameter at breast height (cm); H: height (m); G: basal area (m²); young: young culm, Sprout: sprout culm Cohorts: (1) from 0 to 4 meters in height, (2) from 4.01 to 7 meters in height, (3) from 7.01 to 10 meters in height, (4) higher than 10.01 meters in height; N: number of individuals; a,b,c: parameters; B^{m1}: Biomass (kg) = a*DBHb; B^{m2}: Biomass (kg) = a*DBHb*Hc; B^{m3}: Biomass (kg) = a+b*G.

Table 3. Mean DBH, height and stand characteristics for *G.angustifolia* plantation within Guaycará district used for model validation

Stand	cohort	Stage of maturity	DBH (cm)	Height (m)
5	1	Young	2,87±1,07	3,83±0,16
		Sprout	9,20±0,001	4,00±0,001
	2	Young	5,31±2,46	6,68±0,68
		Sprout	8,47±1,10	5,67±0,58
	3	Young	7,11±2,18	8,30±1,05
		Sprout	10,80±0,99	8,50±0,71
	4	Young	8,14±1,52	12,00±0,001
		Sprout	0,00±0,001	0,00±0,001
6	1	Young	2,78±1,26	3,54±0,54
		Sprout	9,70±0,82	3,50±0,50
	2	Young	5,91±2,77	6,18±0,87
		Sprout	0,00±0,00	0,00±0,00
	3	Young	7,45±0,98	8,67±1,03
		Sprout	11,60±0,57	8,50±0,71
	4	Young	8,10±0,00	11,00±0,001
		Sprout	12,00±0,00	11,00±0,001

DBH: Diameter at breast height (cm); H: height (m); G: basal area (m²); young: young culm, Sprout: sprout culm Cohorts: (1) from 0 to 4 meters in height, (2) from 4.01 to 7 meters in height, (3) from 7.01 to 10 meters in height, (4) higher than 10.01 meters in height;

Table 4. Wilcoxon test for paired samples, between empirical biomass (EB) and adjusted culm biomass models for *G.angustifolia* Kunth in the Guaycará site in Southern Costa Rica.

Obs(1)	Obs(2)	N	Suma(R+)	E(R+)	Var(R+)	DE(dif)	p(2 tails)
EB	B ^{m1}	87	2003	1914	55824,5	1,1	0,7064
EB	B ^{m2}	87	1982	1914	55824,5	0,14	0,7735
EB	B ^{m3}	87	1949	1914	55824,5	2,37	0,8822
B^{m1}	B ^{m2}	87	1757	1914	55824,5	1,12	0,5064
B^{m1}	B ^{m3}	87	2436	1914	55823,13	2,31	0,0272
B^{m2}	B ^{m3}	87	2006	1914	55824,5	2,38	0,697

EB: empirical biomass, B^{m1}: Biomass model 1; B^{m2}: Biomass model 2; B^{m3}: Biomass model 3.

Table 5. Mean empirical and modeled biomass (Mg ha⁻¹), and mean culms ha⁻¹ for *G.angustifolia* Kunth for *G.angustifolia* Kunth in the Guaycará site in Southern Costa Rica.

Stand	Stage of maturity	Culms ha ⁻¹	Biomass (Ton ha ⁻¹)			
			EB	B ^{m1}	B ^{m2}	B ^{m3}
5	Young	1185	8.79±0.15	8.55±0.15	8.88±0.14	8.35±0.14
	Sprout	173	3.93±0.12	3.94±0.13	3.94±0.12	4.55±0.10
6	Young	985	6.98±0.12	6.89±0.11	7.01±0.12	6.72±0.11
	Sprout	148	3.54±0.13	3.70±0.15	3.56±0.13	5.26±0.12

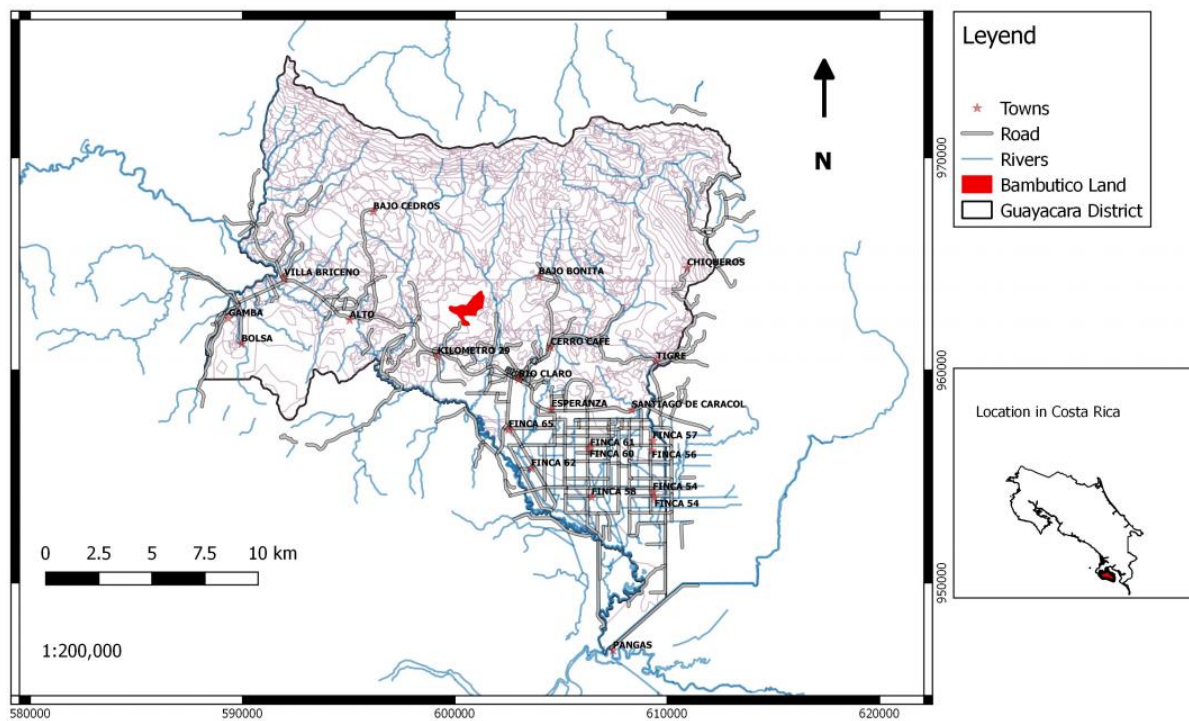


Figure 1. Site location within the Guayacará district of the 3 year old guadua bamboo plantation.



Figure 2. Managed *Guadua angustifolia* clump within Guaycará plantation of three years of age.

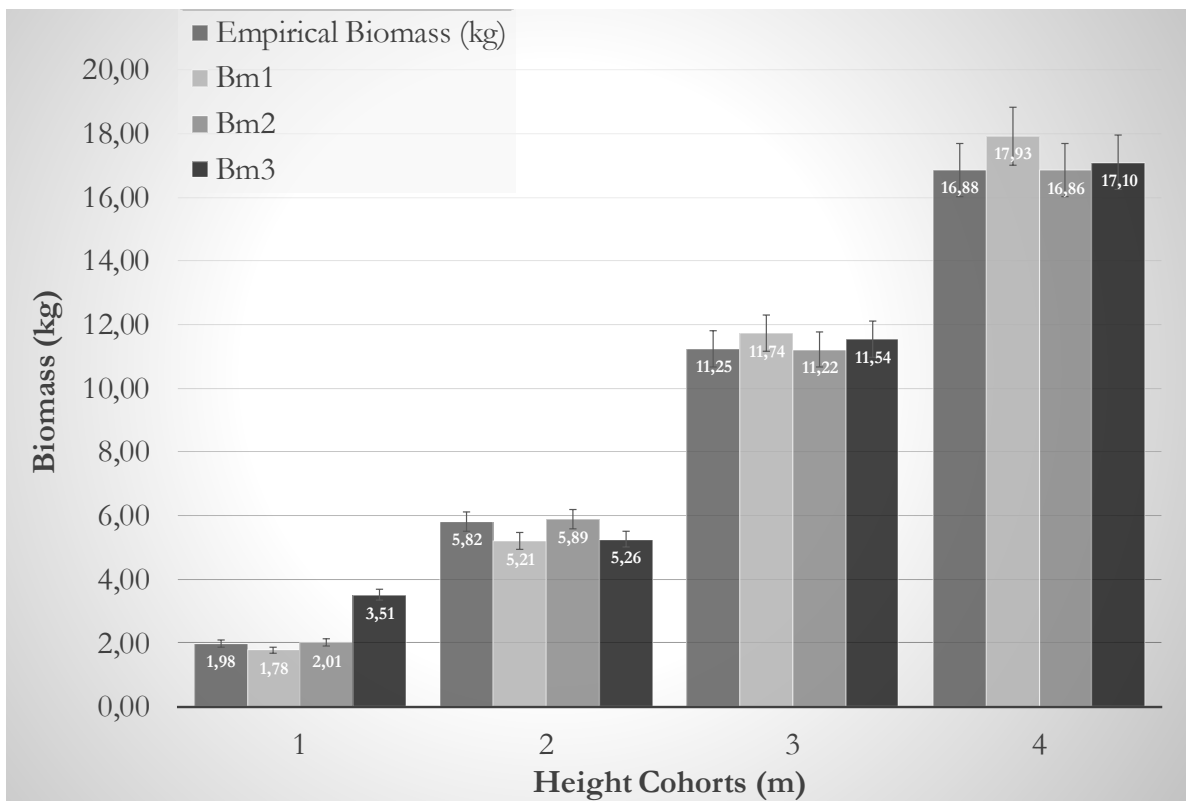


Figure 3. Average biomass under three adjusted culm biomass models and empirical data for *G. angustifolia* in the Guaycará site.

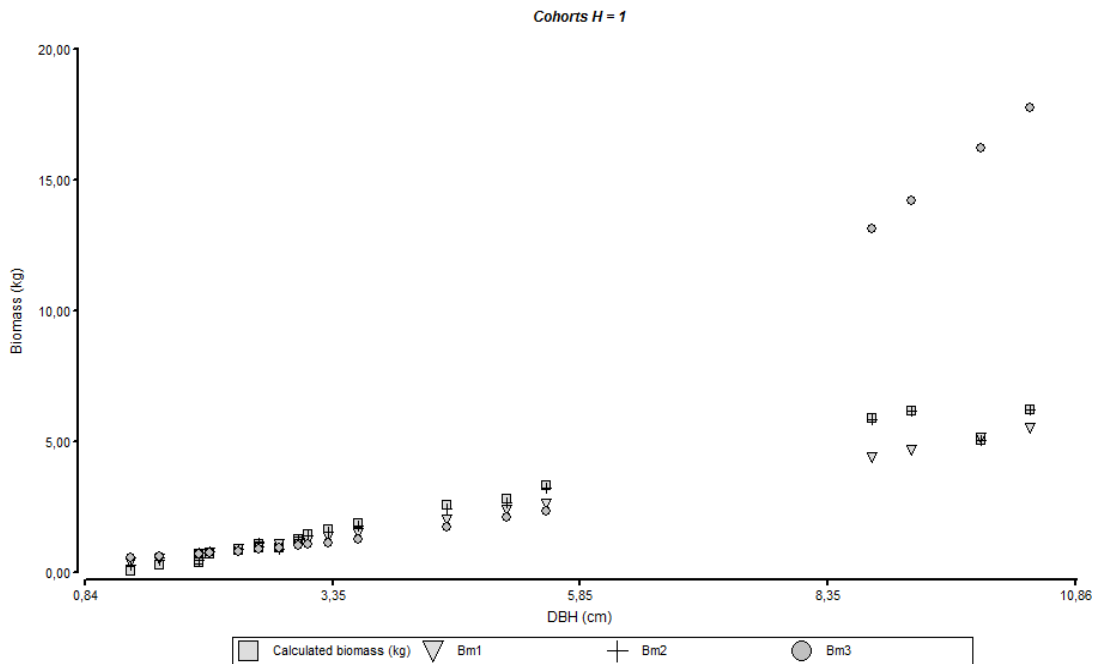


Figure 4. Relationship between diameter and biomass for the adjusted models and empirical data of different height cohorts.

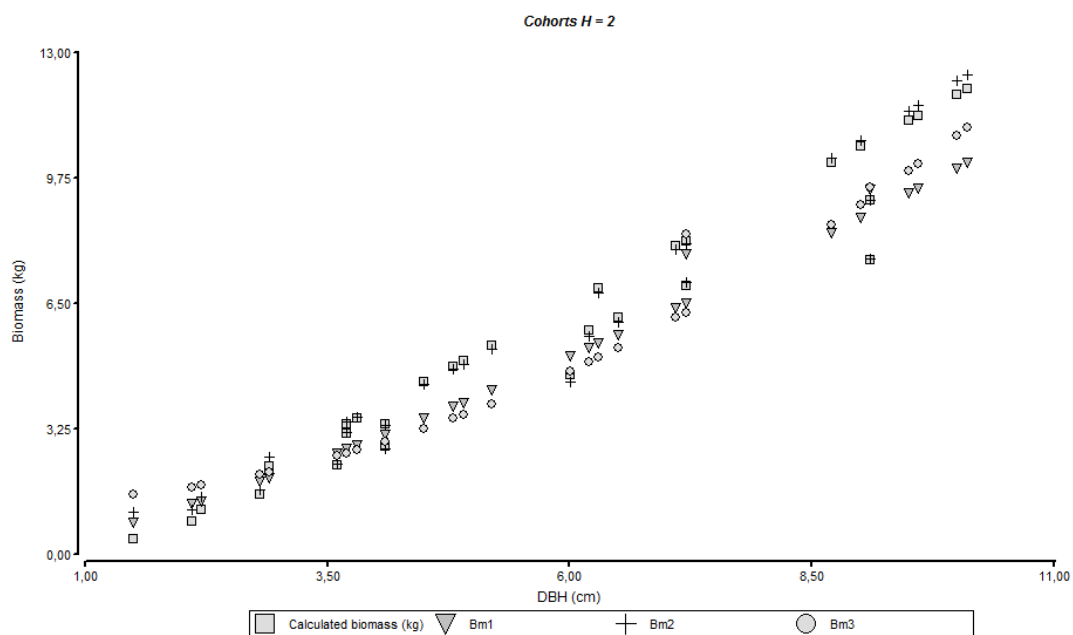


Figure 5. Relationship between diameter and biomass for the adjusted models and empirical data of different height cohorts.

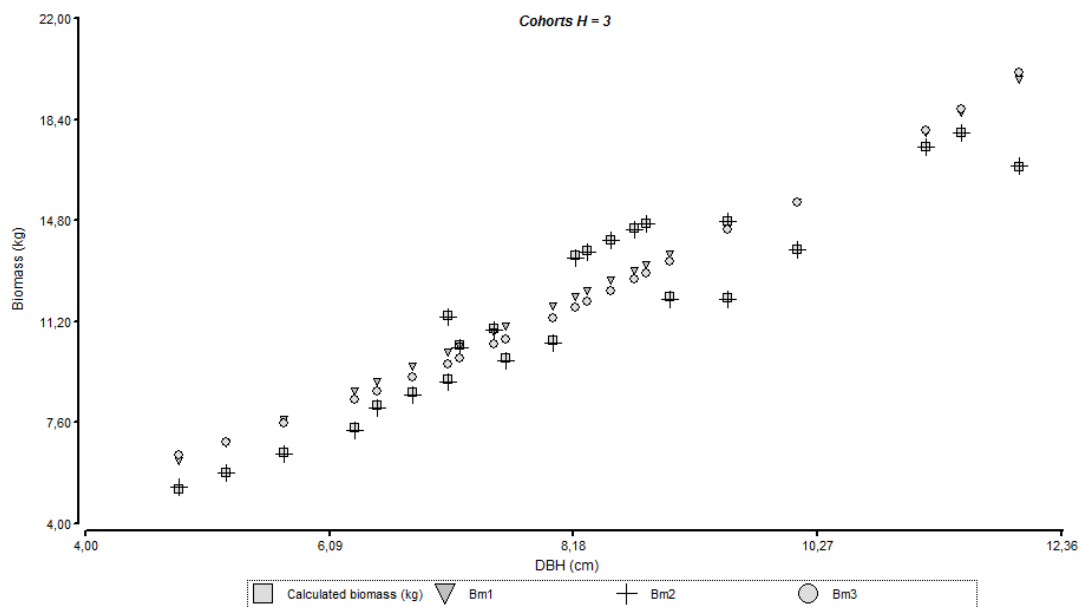


Figure 6. Relationship between diameter and biomass for the adjusted models and empirical data of different height cohorts

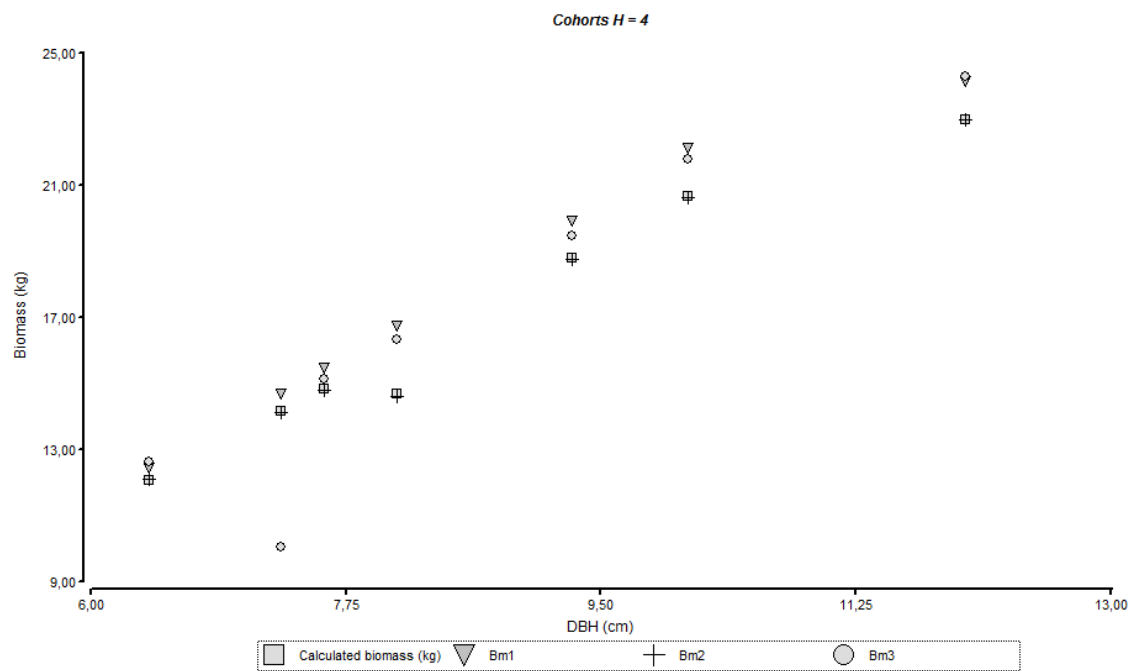


Figure 7. Relationship between diameter and biomass for the adjusted models and empirical data of different height cohorts.

6. Capítulo 4: Transferencia de conocimientos

La proyección a nivel tanto nacional como internacional se volvió una tarea constante. Los resultados, entraron en sumisiones a conferencias internacionales forestales de nivel mundial. Artículos relacionados al proyecto, importantes para la interpretación de resultados se anexan como productos adicionales.

Nombre de obra /Actividad	Lugar	Tipo de obra	Estado (aceptado/ por publicar/ publicado)	Nombre de Evento	Contó con Comité científico (Si o No)	Divulgación #
Página de Facebook	NA	Página web	NA	NA	NA	1
Participación activa en Congreso internacional Perú	Lima, Perú	Participación	NA	WorldBambooWorkshop Perú 2018	No	2
Capacitación personal de ICE. Manejo de Bambú	Tilarán, Costa Rica	Taller y posters	Se tiene registro fotográfico	Capacitación personal de ICE. Manejo de Bambú	NO	3
Innovación en desarrollo y manejo de plantaciones de bambú (<i>Guadua angustifolia</i> y otras) dentro del ámbito bioenergético y de servicios ambientales en cooperación la Red nacional de Electricidad				Poster de Promoción del proyecto	NO	4
World Bamboo Ambassador	Mundial	Website	NA	Representante ante la WBO por Costa Rica http://www.worldbamboo.net/mission/ambassadors	SI	5
Potencial de crecimiento y almacenamiento de carbono en plantaciones de bambú <i>Guadua angustifolia</i> Kunth) ubicadas en la Zona Sur de Costa Rica				Artículo científico.	SI	6
Guía técnica Manejo silvicultural de bambú guadua (<i>Guadua angustifolia</i> Kunth) en Costa Rica				Manual. Revisión en la Editorial Tecnológica		7

Divulgación 1

Página de Facebook.

The image displays three screenshots of the Facebook page for 'Guadua TEC'. The page's profile picture shows a woman in a hat and vest holding a green bamboo shoot. The cover photo is a dense bamboo forest. The page name is 'Guadua TEC' with the URL 'Create Page @Username'. The left sidebar contains navigation links: Home, About, Photos, Events, Videos, Posts, and Community. The main content area shows a video titled 'Taller de Manejo OSACCOOP' with a play button icon. Below the video are two smaller images: 'Fauna usando al Guadua d...' and 'Haciendo raleos en Río Claro'. The right sidebar includes an 'ABOUT' section with contact information (phone number 2550 2475, response time 'Typically replies within a day'), a 'Send Message' button, and links to 'Add Website', 'Community', and 'Suggest Edits'. Below this is a 'Pages Liked by This Page' section featuring 'Bamb-Up' and 'Bambú de Costa Rica'. At the bottom, there is a language selection menu with options for English (US), Español, Português (Brasil), Français (France), and Deutsch.

Guadua TEC
Create Page @Username

Home
About
Photos
Events
Videos
Posts
Community

Taller de Manejo OSACCOOP

Fauna usando al Guadua d...
Haciendo raleos en Río Claro

See All

Guadua TEC
Create Page @Username

Home
About
Photos
Events
Videos
Posts
Community

Promote

Send Message

ABOUT

2550 2475
Typically replies within a day
Send Message

Add Website
Community
Suggest Edits

Promote Website

Pages Liked by This Page

Bamb-Up
Bambú de Costa Rica

English (US) · Español · Português (Brasil) · Français (France) · Deutsch

Divulgación 2: Ver capítulo 1.



Jueves 22/2/2018 2:19 p. m.

Elemer Briceño Elizondo

Re: Fwd: Re: Ponente Ing. ELEMER BRICEÑO Re: Conatcto y participación de Elemer Briceño en WorldBambooWorkshop Perú 2018

Para Lorena Castañeda

CC Tania Cerron BAMBOO

Si hay problemas con el modo en que se muestra este mensaje, haga clic aquí para verlo en un explorador web.

Haga clic aquí para descargar imágenes. Para ayudarle a proteger su confidencialidad, Outlook ha impedido la descarga automática de algunas imágenes en este mensaje.

Mensaje Briceño at al 2018_PERU.pdf (5 MB)

Arq. Lorena Castañeda
Cel. 94747 9899
Twitter @ldrcastaneda

El 14 nov. 2017 11:04 p.m., "Lorena Castañeda" <lorenacastaneda@gmail.com> escribió:

Estimado Ingeniero Elemer,

Lo saluda Lorena Castañeda, sírvase encontrar adjunto la carta de invitación como ponente. Cualquier dato extra que sea necesario agregar a la carta, lo puede modificar y nosotros la finalizamos agregando la firma de Tania. Estaremos a la espera de su respuesta.

Un gran saludo y bienvenido al equipo BW 2018!

Lorena

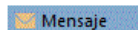


miércoles 31/1/2018 9:16 a. m.

Elemer Briceño Elizondo

RV: Ponente Ing. ELEMER BRICEÑO Re: Conatcto y participación de Elemer Briceño en WorldBambooWorkshop Perú 2018

Para ELEMER7@GMAIL.COM



Mensaje



WBO 56PE-2017 PONENTES - ELEMER BRICEÑO ELIZONDO (U. Costa Rica).pdf (1 MB)

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Email: ebricane@itcr.ac.cr

Tel: (506) 2550-9428

Research Gate: https://www.researchgate.net/profile/Elemer_Bricane

Google Scholar: <https://scholar.google.com/citations?user=eZsIL-cAAAAAJ&hl=en>

De: z3l9a3@gmail.com [<mailto:z3l9a3@gmail.com>] En nombre de Lorena Castañeda

Enviado el: lunes, 27 de noviembre de 2017 11:50 p. m.

Para: Elemer Briceño Elizondo <ebricane@itcr.ac.cr>

CC: tania.cerron@cerronarg.com.pe

Asunto: Re: Ponente Ing. ELEMER BRICEÑO Re: Conatcto y participación de Elemer Briceño en WorldBambooWorkshop Perú 2018

Estimado Elemer,

Sírvase encontrar adjunto la carta actualizada detallando nombre instituto, entre otros.

Seguimos en comunicación y que tenga una excelente semana! :)

Lorena

DESIGN GREEN

World Bamboo Workshop

PERÚ 2018

Azpitia, Lima | 36 Horas
21 al 25 Febrero | Teoría y Práctica

EJES TEMÁTICOS

CONSTRUCCIÓN

- Diseño estructural con bambú
- Consideraciones básicas para la construcción de estructuras de bambú
- Tensegrity / Estructuras ligeras
- Arquitectura y construcción sostenible con bambú
- Habitáculos temporales de emergencia
- Arquitectura orgánica con bambú rolizo y latas
- Construcción con tierra y bambú

PAISAJISMO

- Diseño ornamental con bambú

MOVILIDAD SOSTENIBLE

- Bicicletas con bambú

SILVICULTURA

- Diversidad y ecología de bambúes americanos y bambúes naturalizados
- Manejo silvicultural
- Cosecha y post cosecha
- Preservación

DESARROLLO IN SITU

PRODUCTOS

- Tensegrity Estructura ligera
- Estructura orgánica con bambú rolizo y latas
- Habitáculo temporal de emergencia de bambú
- Recubrimientos con tierra



USA
SUSANNE LUCAS
World Bamboo Organisation



PERÚ
TANIA CERRÓN
Cerrón Arquitectos



MÉXICO
MARTÍN MORTERA
Cima Trade



MÉXICO
DIEGO CARDENAS
Bamboocycles



PERÚ
JUAN CARLOS ATOCHE
Programa Global de Escuelas Seguras del Banco Mundial



PERÚ
NATALIA REATEGUI
Sociedad Peruana del Bambú



BRASIL
PETER VAN LENGEN
Tato Arquitectos



PERÚ
GISELA GUTIERREZ
Sociedad Peruana del Bambú



COSTA RICA
ELEMER BRICEÑO
Instituto Tecnológico de Costa Rica



INFORMES

Inscripciones:
☎ (051) 934652683 ☎ (051-1) 4617257
✉ info@worldbambooworkshop.com
Contacto Comercial: ☎ (051) 947479899
✉ lorena@limacreativos.com

COSTO INSCRIPCIÓN

Descuento corporativo del 10% para grupos a partir de 5 personas.
Estudiantes Pregrado \$ 300 Dólares (S/ 1140 Soles)
Público en General \$ 350 Dólares (S/ 1330 Soles)
Incluye: Materiales y herramientas, Equipo de seguridad, Kit de Bioseguridad, playera, gorra, Certificado de Asistencia, Almuerzo de bienvenida.

Organizado por



CERRÓN
ARQUITECTOS



Patrocinado por



Colaboradores



www.worldbambooworkshop.com



Divulgación 3: Capacitación y trabajo ICE

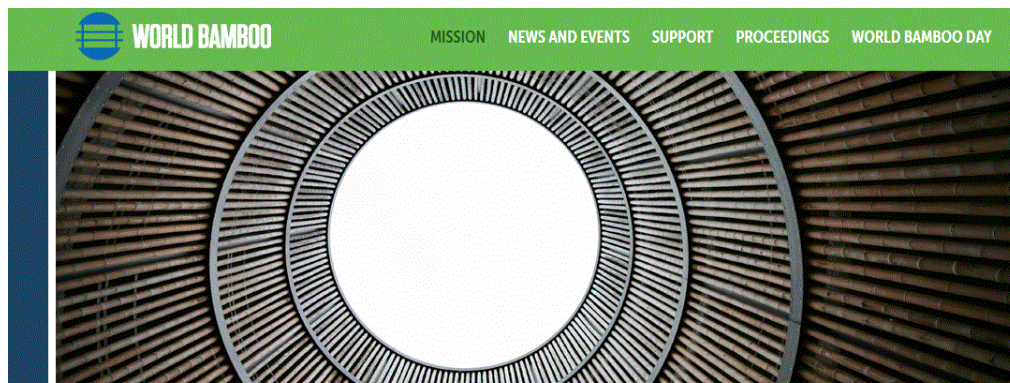


Divulgación 4: Poster promocional del proyecto usado en toda actividad posible



Divulgación 5: World Bamboo Ambassador

<http://www.worldbamboo.net/mission/ambassadors>



World Bamboo Ambassadors



Michel Abadie
France
bambadie@gmail.com
Bamboo for Planet



Elemer Briceño Elizondo
Costa Rica
ebriceno@itcr.ac.cr
Instituto Tecnológico de Costa Rica



Nicole Bunga
Democratic Republic of Congo
nmbmesia@gmail.com
Lecobaf ONG

Our Mission

World Bamboo Ambassadors
Bamboo Pioneers

World Bamboo Ambassadors





ET 218-2018

A quien interese

La suscrita, editora de la revista *Tecnología en Marcha*, cédula de identidad número tres-cuatrocientos ocho-quintientos veinticuatro, hace constar que el artículo *Potencial de crecimiento y almacenamiento de carbono en plantaciones de bambú Guadua (Guadua angustifolia Kunth) ubicadas en la Zona Sur de Costa Rica*, de los autores Elemer Briseño-Ellizondo, María Verónica Villalobos-Barquero y Lupita Vargas-Fonseca, fue sometido a evaluación en la revista *Tecnología en marcha* para su eventual publicación.

La revista se encuentra indexada en Latindex, DIALNET, Solelo y REDIB.

Se extiende la presente a solicitud de los interesados, en la ciudad de Cartago, el trece de junio del dos mil dieciocho.



M. Sc. Alexa Ramírez Vega. Editora
Revista Tecnología en Marcha

Apdo 159-7050 Cartago,
Costa Rica
Tel.: (506) 2550-2297
revistam@tec.ac.cr
revistas.tec.ac.cr/tec_marcha

ARV

O. Tecnología en Marcha

Potencial de crecimiento y almacenamiento de carbono en plantaciones de bambú *Guadua* (*Guadua angustifolia* Kunth) ubicadas en la Zona Sur de Costa Rica

Elemer Briceño Elizondo³

Maria Verónica Villalobos Barquero¹

Lupita Vargas Fonseca¹

³ Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal, Cartago, Costa Rica; ebriceno@itcr.ac.cr, vvillalobos@itcr.ac.cr, lvargas@itcr.ac.cr.

Resumen

En los rodales de *Guadua angustifolia*, es necesaria la planificación de cosecha mediante un inventario de existencia para conocer la cantidad de tallos, la altura, el diámetro y el estado de madurez. En Costa Rica, debido a las condiciones climatológicas y su amplia diversidad, el establecimiento de la especie *Guadua angustifolia* Kunth posee un gran potencial de desarrollo. Pese a esto, la información generada a nivel país es muy escasa, los estudios realizados se concentran en describir aspectos taxonómicos, biofísicos y usos domésticos basados en la experiencia generada en otros países. El presente estudio cuantifica el potencial de crecimiento y almacenamiento de carbono en plantaciones dentro de la zona sur de Costa Rica, revisando aspectos de sitio y manejo óptimo para la especie. Se compararon sitios de edades similares buscando comparar condiciones de manejo así como; las condiciones de suelo. El sitio en el distrito Guaycará, a pesar de ser la plantación más joven y con menor cantidad de carbono en el año 2015 ($20,03 \pm 0,36$ ton C/ha), en comparación a las otras plantaciones ($27,73 \pm 0,34$ ton C/ha $25,89 \pm 0,06$ tonC/ha para Distrito Drake y Puerto Jimenez respectivamente), superó en más de un 100% su cantidad de carbono acumulado al 2016, llegando a $54,40 \pm 1,00$ ton C/ha, mientras las otras plantaciones incluso con algún manejo recibido no lograron llegar a los mismos niveles. Se concluye que un programa de manejo adecuado es necesario desde el principio para aumentar el potencial de crecimiento y captura e carbono en plantaciones de *Guadua angustifolia*.

Abstract

In *Guadua angustifolia* plantations, harvest planning is necessary by means of an inventory of existence in order to know the current stand density diameter distribution, height profile and the number of stems, height, diameter and state of maturity. In Costa Rica, due to the climatic conditions, the establishment of the species *Guadua angustifolia* Kunth has a great development potential. In

spite of this, the information generated at country level is very scarce, studies found concentrate on describing taxonomic, biophysical and domestic uses based on the experience generated in other countries. The present study quantifies the potential for growth and storage in plantations within the southern zone of Costa Rica, reviewing aspects of site and optimal management for the species. Sites of similar ages were compared to compare management conditions as well as soil conditions. The site in the Guaycará district, despite being the youngest and with the smallest reservoir of carbon in 2015 (20.03 ± 0.36 ton C / ha), compared to other plantations (27.73 ± 0.34 ton C / ha 25.89 ± 0.06 tonC / ha for the Drake and Puerto Jimenez districts, respectively), exceeded by more than 100% the amount of carbon accumulated by 2016, reaching 54.40 ± 1.00 Ton C / ha, while the other plantations even with some management received failed to reach the same levels. It is concluded that an adequate management program is necessary from the beginning to increase the potential for growth and carbon capture in plantations of *Guadua angustifolia* Kunth.

Palabras clave: *Guadua angustifolia* Kunth, manejo silvicultural, aprovechamiento sostenible, acumulación de carbono, Costa Rica.

Key words: *Guadua angustifolia* Kunth, silvicultural management, sustainable harvest, carbon accumulation, Costa Rica

Introducción

El bambú es un cultivo de usos múltiples, con más de 1500 usos documentados. Sus usos tradicionales más importantes incluyen construcción, alimentación y materiales de artesanía. A nivel mundial, más de 2,5 millones de personas comercializan o usan bambú. A nivel mundial, el uso comercial y de subsistencia doméstica de bambú se estima en un valor de US \$ 4,5 mil millones por año, y la exportación de bambú genera otros US \$ 2,7 mil millones (INBAR 1999b). Los múltiples usos y la importancia económica de bambú significan que desempeña un papel considerable en la mejora de las condiciones de vida de poblaciones rurales (Bystriakova et al 2004).

En Costa Rica, los usos de la mayoría de las especies nativas han sido poco significativos y otras especies como *Bambusa vulgaris* y *Dendrocalamus asper* fueron introducidos hace más de 50 años por parte de las empresas bananeras con el fin de apuntalar las plantas de banano, demarcar los límites de las fincas y usar bambú tierno como alimento (Deras, 2003). La guadua constituye el género de bambú nativo más importante de la América Tropical e incluye aproximadamente 32 especies reportadas desde México hasta el sur de Argentina, exceptuando Chile y las Islas del Caribe. Costa Rica, es el país con mayor diversidad de especies de bambú en Centro América, posee 8 géneros y 39 especies reportadas. El 50% de las especies fueron registradas en los últimos 20 años (Montiel & Murillo 1998). Dentro de las especies del género Guadua, *Guadua angustifolia* Kunth es una de las más cultivadas, particularmente en Colombia, en donde el área sembrada es cercana a las 51 000 ha. Grandes extensiones de este bambú ocupan además el suroeste del Amazonas y el noroeste en la conjunción de Brasil, Perú y Bolivia, donde, según el más reciente estudio de satélite y fotografía aérea, el área cubierta es de 180 000 km² (Judziewicz et al. 1999). La guadua posee un rizoma paquimorfo, el cual es un sitio de almacenamiento permanente de productos de la fotosíntesis, con lo cual se estaría fijando un importante porcentaje de dióxido de carbono, con la ventaja que estos no son removidos con la cosecha (Arango, 2011). De acuerdo con los estudios

realizados (Riaño, 2002), el 90% de la biomasa de *Guadua angustifolia* es almacenada en los culmos y rizomas en maduración, y es muy importante determinar si dicha cantidad de biomasa tiene potencial para la producción de energía donde el país está concentrando diversos esfuerzos en buscar fuentes alternativas para la producción energética (Cruz, 2009).

En el país, los cultivos más exitosos del género *Guadua* están entre los 240 y 500 m de altitud, en zonas con precipitaciones anuales promedio de 3 000-4 000 mm. Es difícil determinar el origen preciso de las especies y variaciones de *Guadua* presentes en Costa Rica (Morales 2006). Se sospecha que algunas fueron importadas directamente de Colombia, Brasil y Perú (Montiel et al 2006). Tal como lo indican Montiel et al (1998), muy probablemente se introdujo variaciones morfológicas particulares, conocidas localmente como “Sur” y “atlántica” de las cuales hasta hoy no se tiene certeza de su origen, sin embargo, se presume que la variedad Atlántica es originaria del Brasil y que fue introducida en los años 80’s

En la península de Osa, específicamente bajo la influencia de la Cooperativa de Productores de Palma, OSACOOOP, se encuentran varias fincas productoras de bambú *Guadua angustifolia* Kunth, que utilizan las variedades presentes en Costa Rica. Un estudio previo realizado por Arguedas 2014, ayudó a la identificación e interacción con fincas que se encuentran en etapas productivas, pero que necesitan, en la mayoría de casos, asesoría sobre manejo. En general la Península de Osa se caracteriza por su topografía abrupta y quebrada y por ser una región muy lluviosa con una precipitación anual entre 4.000 y más de 6.500 mm y alturas entre 0 y 780 m.s.n.m (Rosero, Maldodano y Bonilla, 2002). Predominan los suelos ultisoles e inceptisoles, conocidos por su alta acidez, drenaje pobre y baja fertilidad. Cerca del 70% de las tierras tienen capacidad de uso forestal (Arguedas 2014). Se cita que al año 2014, las plantaciones o rodales, en su totalidad, no contaban con ningún tipo de manejo, salvo chapeas en algunas épocas del año. De las originales 35,88 ha sembradas inicialmente, se encontró un área efectiva de 7,45 ha distribuidas en 28 rodales, lo cual representa un 79,2% de mortalidad. Las principales causas de

mortalidad fueron la falta de manejo técnico y oportuno de los rodales, siembra bajo la sombra del bosque y sitios de siembra con suelos compactados y mal drenados. Otros sitios en el Sur, como en el distrito de Guaycará, poseen plantaciones más productivas, con características topográficas mucho más abruptas pero con una precipitación mayor y condiciones de suelo más favorables.

La silvicultura del guadua comprende dos etapas fundamentales; la etapa de establecimiento y formación rodal, que va desde el momento de plantación hasta que se empiecen a dar las primeras cosechas comerciales (esto definido por un mercadeo de productos); y la etapa de sostenibilidad de la producción, la cual busca aumentar el número de culmos comerciales y mantener la continuidad de la plantación en el tiempo de manera sostenible. Si una plantación es establecida y no se le aplica el adecuado manejo, experimentará retrasos casi desde sus inicios y es probable que represente pérdidas al corto plazo, ya que su crecimiento se estancará e incluso puede empezar a autoralearse al punto de pérdida de macollas enteras dentro de la plantación.

Esta investigación busca analizar el comportamiento en crecimiento, desarrollo y carbono acumulado en plantaciones de *Guadua angustifolia* en la zona sur de Costa Rica, bajo condiciones de manejo distintas. Se compara el comportamiento de tres fincas bajo distintos regímenes de manejo y se analiza en base a sus datos por hectárea, independientemente de sus datos nominales de área, para poder inferir sobre los resultados obtenidos.

Metodología

Localización y descripción de sitios

Península de Osa

Distrito Drake

En el distrito de Drake, cantón de Osa, provincia de Puntarenas, se toma la finca propiedad de Gilberto Jimenez Alvarez (figura 1). La finca está a una elevación de 100 msnm; la precipitación anual se encuentra entre los 3000 a 4000 mm anuales con una temperatura media de 27°C. El área de la finca plantada con

bambú tiene una superficie de 0,85 ha, y está clasificada como cobertura forestal y agrícola y ha llegado a 4 años de establecida. Los suelos están clasificados como ultisoles (suborden udults).

Figura 1. Localización distrital de finca de Gilberto Jimenez Alvarez

La finca tiene varios usos y el propietario depende de su subsistencia de la misma, donde cultivos anuales como frijoles, maíz son atendidos junto a una producción porcina de baja escala. El rodal de Guadua fue sembrado en el año 2010, con la variedad sur y algunas macollas de atlántica, y está cercano a una quebrada a un costado. El aspecto del rodal es sano y se nota la presencia de manejo; el cierre de copas ya se ha dado y el propietario mantiene un sistema de control de malezas adecuado (es fácil desplazarse por la plantación). Adicionalmente el productor mismo genera más material vegetativo, a partir de los chusquines encontrados en su plantación. Se nota un control de podas, aunque no se han establecido control de yemas.

Distrito Puerto Jiménez

El segundo sitio, propiedad de Alfredo Quintero encuentra ubicada en el distrito de Puerto Jiménez, cantón de Golfito, Provincia de Puntarenas (figura 2). La finca está a una elevación de 0 msnm; la precipitación anual se encuentra entre los 4000 a 5000 mm anuales con una temperatura media de 27°C. El área de la finca plantada con bambú tiene una superficie de 1,5 ha y está clasificada como cobertura forestal y agrícola. Los suelos están clasificados como inceptisoles (suborden udepts). La plantación posee 3 años de edad. El área de bambú colinda con una finca agrícola y con el Bambusetum más grande de la península de Osa con una colección de aproximadamente 30 especies. El área fue sembrada en el 2011 con la variedad “sur” y aun se distinguen las calles entre las macollas. El rodal está establecido, pero las macollas todavía están en etapas iniciales de desplazamiento en sitio. El aspecto del rodal es sano, con una altura promedio de 6 m para los culmos maduros (Cuadro 1).

Figura 2. Localización distrital de Alfredo Quintero Quintero.

Rio Claro (Distrito Guaycará)

El tercer sitio se encuentra cerca de la comunidad de Rio Claro en el distrito de Guaycará, cantón de Golfito, Provincia de Puntarenas, propiedad de la empresa Bambutico S.A. (Figura 2). La finca está a una elevación de entre 200 a 300 msnm; la precipitación anual se encuentra entre los 4000 a 5000 mm anuales con una temperatura media de 25°C. Dentro de la finca existen varios rodales de distintas edades de plantación; con una superficie de 11,74 ha totales; el área que concuerda en tiempo de siembra de los otros dos sitios tiene 2,3 ha de extensión. Las coberturas según la clasificación oficial incluyen terrenos no forestales, forestales y parte de bosque secundario dentro de las colindancias de la propiedad. Los suelos están clasificados como entisoles e inceptisoles (suborden orthens y udepts).

Figura 3. Localización distrital de Guaycará, finca perteneciente a Bambutico.

El terreno presenta evidente deposición de materia orgánica, afloración rocosa pero bajo un manejo intensivo y metódico en lo referente a corta de guías, eliminación de culmos de baja dimensión, podas y control de yemas. El rodal se encuentra bien establecido, y a pesar de su corta edad (3 años) ya posee un cierre del dosel.

Inventario de existencias.

El método de muestreo utilizado fue una modificación del método de tripletas o árboles individuales (Murillo et al 2014), el cual por la naturaleza del recurso es renombrado “Macollas individuales”. El objeto de medición es constituido por una macolla con todos sus culmos; la distribución es aleatoria en su inicio. La macolla inicial es elegida en forma aleatoria, para luego continuar incluyendo las macollas en la muestra cada determinada cantidad fija de individuos, según sea la intensidad de muestreo definida; por ejemplo para un 2% de intensidad de muestreo se elige una cada 50 macollas ($100/2 = 50$) y para un 4% se elige

una macolla a cada 25 macollas ($100/4 = 25$). Una vez en la macolla escogida se procede a hacer un levantamiento de las variables de diámetro de culmo, altura de culmo, estado de madurez, estado sanitario. La cantidad de culmos medidos en este método es equivalente al establecimiento de una parcela de 500 m² en donde los culmos están aleatoriamente distribuidos dentro de todo el lote (Murillo et al 2014). La diferencia de este método en ser aplicado de una plantación forestal de árboles a una plantación de bambú, reside en el hecho de que el punto de medición arroja datos de muchos culmos individuales, permitiendo captar mayor variación e información de los estados de madures en la plantación; y las observaciones de vecinos incrementa medición de múltiples vecinos. Este método es aplicable a una plantación que no haya perdido la diferenciación de macolla y que a la vez sea de tamaño pequeño. El método obliga a recorrer el rodal en su totalidad. Ya que se contabilizan todas las macollas presentes en la plantación o rodal, se puede hacer una contabilización del número de culmos totales y a la vez por estado de madurez, el cual puede ser luego extrapolado a hectárea de manera simple, a saber:

$$\frac{\sum n^i * 100}{i\%} \quad [1]$$

$$\frac{n^i}{i\%} = \frac{x}{100\%} = N^i/ha \quad [2]$$

Dónde: n^i : culmos totales en la macolla o culmos totales por estado de madurez de la muestra

$i\%$: intensidad de muestreo seleccionada.

En planillas de campo previamente diseñadas se recolectó información de diámetro a la altura del pecho, estado de madurez del culmo y densidad por parcela. El diámetro se midió con cinta diamétrica a 1,3 m del suelo en la mitad del entrenudo y no en los nudos. Los estados de madurez según metodología propuesta por Castaño y Moreno (2004), se reconocen en campo según cambios de color en los culmos y nudos, aparición de líquenes y pérdida de hojas caulinares; todo esto ocurrido por el tiempo que permanece un culmo en la plantación.

Cálculos de carbono e interpretación de datos.

Para la determinación de carbono presente en los sitios, se tomaron los datos de variables de campo y con la determinación del volumen del cilindro y utilizando un factor de forma (determinado por 47 culmos de los distintos sitios y por distintas clases diamétricas, datos no mostrados) se obtuvo un volumen inicial. Este se redujo al tomar en cuenta el grosor promedio de pared reportado para la especie (Widmer 1990), para así eliminar el volumen “vacío” del interior del culmo; se procedió luego a utilizar información sobre el peso específico de la especie y contenido de carbono promedio (IPCC 2006) para su conversión. El carbono reportado aquí equivale a la biomasa del culmo, ya que por aspectos logísticos no se contempló biomasa del rizoma o de ramas y hojas, así como dificultad de determinar el ciclo de renuevo de la copa. Se espera en una siguiente fase de la investigación adicionar estos valores. La información del inventario y cálculos de carbono se ordenó para su análisis. Lo primero fue un conteo descriptivo de las existencias totales, de acuerdo al método de muestreo, para luego extrapolar los datos a hectárea. La información del análisis incluye: estructura del rodal, densidad, grados de madurez, diámetro y altura promedio así como volumen y carbono en la sección del culmo total.

Resultados

Inventario de fincas.

Distrito Drake

El inventario implementado en el 2015 y en el 2016 ayudo a la elaboración de caracterización cuantitativa del número de culmos, su distribución diamétrica y de la estimación de cosecha actual y futura (cuadro 1). La mayoría de culmos en el 2015 se encuentran en estado maduro con un diámetro promedio de $5,16 \pm 1,09$ cm seguidos de una importante cantidad de jóvenes (3681 culmos/ha), con presencia de rebrotes muy aparente y casi ningún culmo seco en términos de hectárea. En el 2016 la situación cambia (Cuadro 1 y figuras 4 y 5); el total de culmos en categoría de rebrote pasa a la categoría

de joven, donde se espera que se mantengan en un periodo no inferior a 3 años. La cantidad de culmos jóvenes encontrados en el 2015 aun no llegan a la edad de madurez por lo que permanecen también es esa categoría, aun así según inventario del 2016 su número aumenta; la cantidad de rebrotes encontrados en esta plantación es a la vez mayor. La densidad de los reclutamientos en el 2016 aumentó, como se observa en el diámetro promedio, y se espera por ende un aumento en dimensiones en años futuros hasta llegar al máximo de la especie.

Cuadro 1. Características generales del inventario del 2015 y 2016 para la finca de Gilberto Jimenez Alvarez, distrito Drake, península de Osa, Costa Rica.

Figura 4. Estados de madurez vs distribución de culmos por hectárea del inventario del 2015 y 2016 para la finca de Gilberto Jimenez Alvarez asociado a OSACOOOP R.L en la Península Osa, Costa Rica

Figura 5. Cambios de distribución y reclutamiento en estados de madurez anual por hectárea para la finca de Gilberto Jimenez Alvarez asociado a OSACOOOP R.L en la Península Osa, Costa Rica.

Distrito Puerto Jiménez

El cuadro 2 muestra la cantidad de culmos por hectárea en la plantación del distrito de Puerto Jimenez, la cual la cual presenta una densidad extremadamente alta; esta densidad está relacionada a las dimensiones de los culmos. Es fácil movilizarse entre macollas; sin embargo al analizar su comportamiento promedio, es visible que esta densidad está compuesta de muchos culmos de muy baja dimensión, con un promedio en el 2016 de $4,06 \pm 0,63$ cm para maduros, $4,70 \pm 1,21$ cm para rebrotes y $3,45 \pm 1,29$ cm para jóvenes. En esta plantación abundan culmos jóvenes por la edad de la plantación; solamente se obtienen 166 culmos /ha en estado maduro en ambos años, ya que no ha pasado un tiempo propicio para que la gran cantidad de jóvenes con potencial comercial llegue a madurez.

La cantidad de rebrotes del año 2015 al 2016 pasa de 199 a 2989 culmos /ha; lo cual es una indicación de un potencial de existencias futuras adecuadas; aun así el diámetro promedio de los culmos incluso

disminuye en comparación al año anterior, lo que puede indicar una falta de nicho de crecimiento o estancamiento en crecimiento dimensional de los culmos. Lo anterior es un indicador de la necesidad de un raleo de todo culmo de baja dimensión lo antes posible, para estimular aumento de clases diamétricas.

Cuadro 2. Características generales del inventario del 2015 y 2016 para la finca de Alfredo Quintero Quintero asociado a OSACOOOP R.L en la Península Osa, Costa Rica.

Figura 6. Estados de madurez vs distribución de culmos por hectárea del inventario del 2015 y 2016 para la finca de Alfredo Quintero-Quintero asociado a OSACOOOP R.L en la Península Osa, Costa Rica

Figura 7. Cambios de distribución y reclutamiento en estados de madurez anual para la finca de Alfredo Quintero asociado a OSACOOOP R.L en la Península Osa, Costa Rica.

Distrito Guaycará

En contraste con los otros dos sitios, la finca de producción de bambú guadua perteneciente a la empresa Bambutico tiene un régimen de manejo definido y meticuloso. El cuadro 3 muestra las densidades totales y de los dos estados de madurez. La plantación al año 2016 cumple 4 años de edad y no presenta culmos maduros ya que aún sigue en su fase de establecimiento. Aun así sus dimensiones tanto en diámetro como altura demuestran un buen desarrollo. Como se menciona con anterioridad el que este rodal sirve de punto de comparación de manejo con los otros dos sitios, por su rango de edad y disparidad en prácticas recibidas. La densidad total del rodal es de 2946 culmos/ha en el año 2015, la cual se mantiene al año 2016 (cuadro 3). Sin embargo, las densidades para los distintos estados de manejo cambian a una baja en el número de rebrotes; lo anterior puede ser una consecuencia del manejo recibido, lo cual es verificado por el cambio en dimensiones.

Cuadro 3. Características generales del inventario de las 2015 y 2016 para rodal productivo de la finca Bambutico s.a. en el distrito de Guaycará, provincia de Puntarenas, Costa Rica.

Los culmos jóvenes pasan de tener una diámetro y altura promedio de $3,42 \pm 1,95$ cm y $4,27 \pm 1,30$ m respectivamente en el 2015 a $6,12 \pm 2,41$ cm de diámetro y $7,50 \pm 2,57$ m de altura en el 2016; lo anterior indica que los clases diamétricas bajas de los culmos jóvenes fueron raleadas, y que los rebrotes del 2015 pasan a la categoría de jóvenes en el 2016, alterando las dimensiones promedio y mejorando el estrato de culmos jóvenes. A la vez, a pesar de haber menor reclutamiento de rebrotes en el 2016, los presentes logran superar en aproximadamente 2,5 cm el diámetro promedio de los rebrotes reportados el año anterior.

Figura 8. Estados de madurez vs distribución de culmos por hectárea del inventario del 2015 y 2016 para rodal productivo de la finca Bambutico s.a. en el distrito de Guaycará, provincia de Puntarenas, Costa Rica.

La figura 9 ilustra ese balance en la distribución de un año a otro, en donde el total se mantiene; siendo la diferencia que 318 culmos por hectárea son reportados como jóvenes sin haber sido contabilizados como renuevos. Lo anterior se dio por la diferencia de solamente 2 meses más en la realización del inventario 2016, por lo que aquellos que hubiese sido reportados como rebrotes ya habrán alcanzado la fisionomía de culmo joven.

Figura 9. Cambios de distribución y reclutamiento en estados de madurez anual para rodal productivo de la finca Bambutico s.a. en el distrito de Guaycará, provincia de Puntarenas, Costa Rica

Acumulación de volumen y biomasa.

La acumulación de carbono para las tres fincas no necesariamente sigue un aumento de año a año, ya que depende tanto de las condiciones climáticas, como del manejo recibido y las condiciones del suelo. Por ejemplo, la finca en Drake presenta una disminución en un 10% en jóvenes y un 13% en rebrotes del año 2015 al 2016 (cuadro 4). En contraste, la finca en Puerto Jimenez, se mantiene casi igual para la masa de culmos jóvenes, aumentando en solo un 2% y sin presentar aumento en aquellos clasificados como maduros, que de todas maneras deben ser totalmente eliminados en la siguiente intervención. El aumento en volumen, y consecuentemente carbono está reflejado en los nuevos rebrotes, que acumulan $3,67 \pm 0,05$ ton/ha representado un 12% más con respecto al 2015.

Cuadro 4. Volumen y biomasa por hectárea en el inventario 2015 a 2016 en plantaciones de *Guadua angustifolia* en tres distritos de la zona sur de Costa Rica.

Discusión

El manejo del bambú está basado en el desarrollo fisiológico del tallo. El culmo comercial de bambú adquiere su máximo desarrollo en menos de un año después de haber brotado del suelo, pero no está disponible para su uso en construcciones hasta alcanzar su plena madurez y dureza. En la mayoría de los bambúes, este período termina entre los 2 y los 6 años (Mercedes 2006). Como se observa en el cuadro 1, la cantidad de culmos por hectárea en la plantación indica a una densidad de adecuada a alta (Arguedas 2014) aun así se debe considerar las dimensiones y la edad de la plantación, en donde un gran número de culmos es de esperarse ya que las dimensiones más altas no superan los 8.5 cm de diámetro, en esta finca. De manera clara en estudios como este se puede constatar que un manejo por sanidad debe ser la primera fase, ya que es si la cantidad de culmos secos supera a los culmos con valor comercial, es evidente la pérdida de valor comercial que la plantación sostiene por falta de un manejo óptimo en el tiempo ni

sostenible. Un paso importante en aclareos de sanidad es visualizar la posibilidad de usar este material como un primer aporte a proyectos bioenergéticos. En el año 2016, queda en evidencia la reacción de la plantación al manejo, todos los culmos secos fueron eliminados y las labores de control de malezas ayudaron a que los rebrotes no se perdieran. Aun así a densidad total se ve afectada al aumento, lo cual indica la necesidad de raleos comerciales incluso en el 2016. La distribución de estados de madurez se ve favorecida del 2015 al 2016. Como es sabido, para aprovechamientos de guadua (Alegría 2013) no se puede aprovechar toda la masa madura si esta supera el 30 %, ya que se mermaría la plantación y puede ocasionar problemas de anclaje así como quitar demasiada área foliar de la cual depende la macolla para su funcionamiento fisiológico adecuado.

En el caso de la plantación Jiménez Álvarez se observa un aumento en el número de jóvenes de un año al otro que sube más de 1000 culmos por hectárea; lo anterior justifica un raleo comercial inmediato que no bajaría en mucho la densidad total. A nivel operacional, para un proyecto de desarrollo tecnológico para producción e industrialización de la especie en la laguna del Arenal (González y Serrano 2007), se concluyó que la operación de corta es mucho más sencilla que en una plantación forestal sin embargo la falta de manejo dificulta la actividad, obteniéndose rendimientos de aprovechamiento de entre 10 y 15 culmos por hora con cuadrillas no especializadas en la labor en un guadua. Este rendimiento podría aumentarse con un personal capacitado y con un manejo apropiado del guadua de manera que no existan bambúes muertos o sobre maduros (Alegría 2013). En el presente estudio, la cantidad de culmos maduros se mantiene igual de año a año; como se observa en la figura 5, el reclutamiento (rebrotes) es mayor al encontrado en el año 2015; sin embargo se puede asumir que muchos de los clasificados como jóvenes en el 2015 habían salido ese mismo año y ya alcanzado las características taxonómicas de joven (desarrollo de la copa) o bien haber salido el 2014 (Arguedas 2014). En general se nota un aumento en densidad, pero favoreciendo a culmos de calidad comercial. Con lo anterior es posible pensar en una primera cosecha para el año del 2017.

Para la plantación Quintero Quintero se presentan gran cantidad de culmos de muy baja dimensión; el costo energético de mantener dicha masa puede ser el causante de este estancamiento. La distribución de estados de madurez en esta plantación presenta una mayoría absoluta de culmos jóvenes, la cual incluso aumenta al siguiente año. Se recomienda una eliminación de todo culmo inferior a 4 cm de diámetro, con el cuidado de no bajar a niveles muy críticos la densidad total. Un raleo muy fuerte es necesario, ya que se observa un reclutamiento importante (figura 6) en 2016, pero de dimensiones no muy mayores. Ampliar el nicho de colonización del sitio es importante en esta plantación, lo cual además del raleo debe incluir una mecanización de suelos adecuada (Briceño et al 2016). Por otro lado, en la finca en Guaycará, el número de culmos y sus diámetros promedio de un año al, indica un control en la densidad del rodal, la cual se mantendrá, hasta que los tiempos de paso hagan que exista una población de maduros a cortar, a partir de lo cual se mantendrá una dinámica con 3 estados de madurez. La distribución de estados de madurez en este rodal indica que se busca poner a esta plantación en un estado productivo dentro de al menos 2 años, y que aunque existan menos rebrotes, su reclutamiento asegura la renovación y constante producción en el rodal. Las prácticas silviculturales son aplicadas acorde a un plan de manejo preestablecido.

La disminución en rebrotes en la finca Drake se debe al manejo recibido, donde se eliminaron muchos culmos de bajas dimensiones, independientemente de su estado de madurez, por lo que incluso aquellos clasificados como rebrotes al 2015 y que pasan al estado de madurez joven en el 2016 fueron eliminados en el raleo; esto se hizo para mejorar condiciones de densidad a futuro. Este resultado es contrastante con las condiciones de las fincas analizadas, ya que como se describe con anterioridad, el sector Drake recibió un mejor manejo y por tanto se esperaría una mayor cantidad de crecimiento. En el caso de guadua tal afirmación no necesariamente presenta resultados inmediatos, ya que se debe esperar a que el rodal reaccione al manejo en uno o más periodos de crecimiento, y también depende de la cantidad de masa

eliminada, el sector Jiménez mantiene su masa del año 2015 al 2016 al no haber sido intervenido y los renuevos tratan de colonizar más espacio de crecimiento aun disponible.

En lo referente a la acumulación de carbono, estudios con otras especies de bambú con características de crecimiento similares (Yiping et al 2010) señalan la acumulación de carbono en el tiempo a los niveles aquí reportados, siguiendo un patrón de manejo en control de densidad y estados de madurez. De hecho se puede observar en el cuadro 4, que en el 2015 la finca en Drake presenta un $27,73 \pm 0,341$ ton/ha y la finca Jiménez $25,89 \pm 0,06$ ton/ha. Ambas fincas presentan edades muy similares con manejo distinto; al 2016 la finca Drake tiene menos biomasa, por el hecho de estar siendo manejada.

Se podría argumentar la necesidad del manejo, sin embargo los resultados obtenidos en la finca del distrito de Guaycará evidencian las ventajas de intervenciones tempranas, y planificadas. Empezando por la situación en la finca, se observa un aumento de hasta un 152% de culmos jóvenes y un 21% en rebrotes (Cuadro 4), lo que da un aumento del 173% de un año al otro. La finca recibe manejo desde sus inicios y aunque en el año 2015 la cantidad de carbono es de $20,03 \pm 0,36$ ton/ha, se reportan $54,40 \pm 1,00$ ton/ha al año 2016. Lo anterior deja en evidencia para las tres fincas analizadas, que el manejo cumple un papel importante en la regulación no solo de la densidad sino también de la capacidad de crecimiento y rendimiento de las plantaciones. Por ejemplo, otras plantaciones en el país, de mayor edad y sin indicios de manejo, reportan valores de 42,03 ton/ha de biomasa en culmos maduros (Fonseca et al 2016) después de 25 años de establecidas; en cambio la plantación en Guaycará presenta valores mucho mayores en apenas sus primeros años y sin haber experimentado su primera cosecha. Plantaciones en Colombia reportan 21 ton/ha de carbono en plantaciones con densidades superiores a los 11000 culmos por hectárea, en edades tempranas (Camargo et al 2010). Lo anterior evidencia que una ocupación máxima de culmos por área no necesariamente se traduce en una mayor cantidad de carbono en el sitio, ya que se

concluye que la plantación bajará su densidad en el tiempo y así dará paso a un mayor crecimiento y mayor acumulación de carbono.

Se han visto casos en el país, de plantaciones jóvenes en donde nunca se realizaron la corta de guías, donde la chapea no se dio en intervalos adecuados y en donde el concepto de raleo no se aplicó. Dichas plantaciones pierden vigorosidad, ya que los primeros culmos quedan suprimidos paulatinamente al ser reemplazados por nuevos brotes (que sirven de anclaje inicial), aun así estos requieren ser extraídos para evitar que nutrientes sean invertidos en tratar de mantenerlos; incluso después de secos, restan espacio para aparición de brotes nuevos. Lo anterior también aplica para podas, en especial cuando las mismas ya no reciben suficiente luz. En plantaciones de edad avanzada, la falta de raleos puede generar focos de infección que afecten al sistema radical, ya que la guadua depende de la sanidad de su sistema radical, el cual da inicio a más culmos es necesario tener un buen estado fitosanitario. También se han dado casos en donde macollas enteras son tumbadas por sobrepeso de culmos secos o sobre maduros que aumentan la densidad de la plantación y se van perdiendo ya que no fueron sacados a tiempo, acarreando consigo producto de buena calidad. La falta de podas y control de yemas viene a dificultar labores de manejo a los operarios (culmos entrecruzados, y difíciles de extraer) e incluso representar peligro, ya que las espinas pueden generar cortaduras graves.

Como todo recurso, y para que demuestre sostenibilidad, la guadua requiere de una planificación integral desde establecimiento hasta su comercialización. Para llevar a cabo un adecuado manejo del recurso en una zona determinada, la planificación, manejo y gestión de esos recursos deben de estar basados en enfoques ecosistémicos y enfocados en los objetivos de la plantación a largo plazo para obtener un desarrollo sostenible.

Bibliografía

- Alegría, A. (2013). Manejo sostenible del recurso guadua *angustifolia* en Costa Rica y su potencial para la mitigación del cambio climático. Estudio de caso: Plantación de *Guadua angustifolia* variedad atlántica en la estación experimental los diamantes, guápiles. (Tesis de Maestría). ITCR, Cartago, Costa Rica.
- Arguedas Chaverri, A., Alegría, A., Arias Aguilar, D. *Guadua angustifolia* Kunth: opción de diversificación productiva para productores en la Península de Osa, Costa Rica. Tesis de graduación. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 23 p
- Arango, AM. 2011. Posibilidades de la guadua para la mitigación del cambio climático. Caso: Eje cafetero Colombiano. Tesis Administración Ambiental. Pereira, CO, Universidad Tecnológica de Pereira. 114 p.
- Briceño-Elizondo, E., Arias-Aguilar, D., Chavarría-Vidal, A., Guevara-Bonilla, M., Esquivel Segura, E., Camacho-Cornejo, D., Arguedas-Gamboa, M., Canessa-Mora, R., Jakobssen, B. 2016. Effects of high intensity tillage applications to improve productivity on established teak (*Tectona grandis*) plantations in Specific site conditions in Northern Costa Rica. Journal for Applied Life Sciences. Submitted. 15 p.
- Bystriakova, N., Kapos, V. & Lysenko, I. 2004. Bamboo Biodiversity. UNEP-WCMC/INBAR. URL: http://www.unep-wcmc.org/resources/publications/UNEP_WCMC_bio_series/19.htm.
- Camargo, J. C., Arango, J. A., & María, A. 2010. Crecimiento y fijación de carbono en una plantación de guadua en la zona cafetera de Colombia. Recursos Naturales y Ambiente-Comunicación Técnica número 61, páginas 86-94.
- Castaño, F., y Moreno, R. D. (2004). Guadua para todos: cultivo y aprovechamiento. GTZ, Minambiente, CARs Eje Cafetero. Pereira.
- Cruz Ríos, H. 2009. Bambú – Guadua *Guadua angustifolia* Kunth. Bosques naturales en Colombia. Plantaciones comerciales en México. Primera Edición. Pereira, CO, GRÁFICAS OLIMPICA S.A. 710 p.
- Deras, J. E. (2003). Análisis de la cadena productiva del bambú en costa rica.(Tesis de Postgrado) Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseña (CATIE). Turrialba, Costa Rica.

- Fonseca-González, W., Rojas Vargas, M. (2016). Acumulación y predicción de biomasa y carbono en plantaciones de bambú en Costa Rica. *Ambiente y Desarrollo*, 20 (38), xx-xx.
<http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.ayd20-38.apbc>. doi: 10.11144/Javeriana.up14-4.ayd20-38.apbc.
- IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. y Tanabe K. (eds). Publicado por: IGES, Japón
- Mercedes, J.R. 2006. Guía técnica cultivo del bambú. Santo Domingo, República Dominicana. CEDAF, 38 p.
- Montiel, M. and Murillo, L. 1998. Historia ecológica y aprovechamiento del bambú. *Revista Biología Tropical*, 46(3):11-18
- Montiel, M., Jiménez, V. M., & Guevara, E. (2006). Caracterización anatómica ultraestructural de las variantes "Atlántica", "Sur" y "Cebolla" del bambú, *Guadua angustifolia* (Poaceae: Bambusoideae), en Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 54, 1-12. Recuperado de http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442006000500003&script=sci_arttext
- Morales, D. 2003. El bambú como un producto forestal. Análisis del estado actual de las existencias comerciales en Costa Rica. Congreso Forestal Nacional (4, 2003, San José, CR). Resúmenes. MINAE – Asociación para la Capacitación Forestal. San José, CR. p.6.
- Murillo-Gamboa, O., Badilla Valverde, Y., Morales Salazar, M. 2014. Método de inventario para plantaciones pequeñas. Métodos de enseñanza en Inventarios Forestales. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 16 p.
- Rosero Bixby, L., Maldonado Ulloa, T., y Bonilla Carrión, R. (2002). Bosque y población en la Península de Osa, Costa Rica. *Revista de biología tropical*, 50(2), 585-598.
- Widmer, Y. 1990. Caracterización botánica de los bambúes del genero *Guadua* utilizados por el proyecto nacional de bambú en la construcción de viviendas en Costa Rica. CATIE
- Yiping, L., Yanxia, L., Buckingham, K., Henley, G., Guomo, Z. 2010. Bamboo and Climate Change Mitigation: a comparative analysis of carbon sequestration. INBAR. Technical Report No. 32. 30p.

Cuadros y Figuras

Cuadro 1. Características generales del inventario del 2015 y 2016 para la finca de Gilberto Jimenez Alvarez, distrito Drake, península de Osa, Costa Rica.

AÑO/ MADUREZ	DENSIDAD REAL (CULMOS EN 0.85)	DENSIDAD (CULMOS/HA)	DIÁMETRO PROMEDIO (CM)	PROMEDIO DE ALTURA (M)
2015				
JOVEN	3128	3681	6,33±0,72	7,95±5,88
MADURO	4205	4948	5,16±1,09	6,95±4,04
REBROTE	1436	1689	6,30±1,39	5,14±3,12
SECOS	51	60	4,60±0,001	8,00±0,001
TOTALES	8821	10378	5,76±1,18	7,02±4,72
2016				
JOVEN	5385	6335	5,92±1,05	8,25±4,62
MADURO	4205	4948	5,16±1,09	7,82±4,95
REBROTE	1846	2172	5,99±1,34	7,10±3,86
TOTALES	11461	13483	5,78±1,20	7,52±4,88

Cuadro 2. Características generales del inventario del 2015 y 2016 para la finca de Alfredo Quintero Quintero asociado a OSACOOOP R.L en la Península Osa, Costa Rica.

AÑO/ MADUREZ	DENSIDAD REAL (CULMOS EN 1,5 ha)	DENSIDAD (CULMOS/HA)	DIÁMETRO PROMEDIO (CM)	PROMEDIO DE ALTURA (M)
2015				
JOVEN	25224	16816	3,43±1,29	6,64±0,79
MADURO	249	166	4,06±0,63	6,00±0,00
REBROTE	299	199	4,88±0,83	7,00±0,89
TOTALES	25771	17181	4,13±0,91	6,55±0,56
2016				
JOVEN	25522	17015	3,45±1,29	6,65±0,79
MADURO	249	166	4,06±0,63	6,00±0,00
REBROTE	3433	2289	4,70±1,21	4,61±3,30
TOTALES	29204	19469	4,07±1,04	5,75±1,36

Cuadro 3. Características generales del inventario de 2015 y 2016 para rodal productivo de la finca Bambutico s.a. en el distrito de Guaycará, provincia de Puntarenas, Costa Rica.

AÑO/ MADUREZ	DENSIDAD REAL (CULMOS EN 2,3 ha)	DENSIDAD (CULMOS/HA)	DIÁMETRO PROMEDIO (CM)	PROMEDIO DE ALTURA (M)
2015				
JOVEN	4868	2114	3,42±1,95	4,27±1,30
REBROTE	1916	832	7,65±1,92	5,53±2,85
TOTALES	6784	2946	5,54±1,94	4,90±2,08
2016				
JOVEN	5782	2511	6,12±2,41	7,50±2,57
REBROTE	1002	435	10,00±1,77	6,37±3,62
TOTALES	6784	2946	7,41±2,20	7,12±2,92

Cuadro 4. Volumen y biomasa por hectárea en el inventario 2015 a 2016 en plantaciones de *Guadua angustifolia* en tres distritos de la zona sur de Costa Rica.

Año	Madurez	Volumen (m³/ha)	Carbono (ton/ha)	Volumen (m³/ha)	Carbono (ton/ha)	Volumen (m³/ha)	Carbono (ton/ha)
		Distrito Drake		Distrito Puerto Jiménez		Distrito Guaycará	
2015	J	37,67±0,49	12,62±0,16	74,95±0,08	25,11±0,03	21,98±0,37	7,36±0,13
	M	34,20±0,29	11,46±0,097	0,85±0,03	0,28±0,01	---	---
	R	10,52±0,25	3,52±0,083	1,49±0,06	0,50±0,02	37,81±0,67	12,67±0,23
	X	0,40±0,001	0,13±0,001	---	---	---	---
	totales	82,79±1,04	27,73±0,341	77,29±0,17	25,89±0,06	59,79±1,04	20,03±0,36
2016	J	29,21±0,42	9,79±0,14	76,45±0,08	25,61±0,03	113±1,96	37,59±0,66
	M	38,74±0,35	12,98±0,12	0,85±0,03	0,28±0,01	±	±
	R	0,01±0,002	0,098±0,001	10,95±0,14	3,67±0,05	50,17±1,01	16,81±0,34
	totales	67,96±0,77	22,87±0,26	88,25±0,25	29,56±0,09	163,17±1,97	54,40±1,00
% de aumento 2015- 2016	J	-10		2		152	
	M	5		0		0	
	R	-13		12		21	
	totales	-18		14		173	

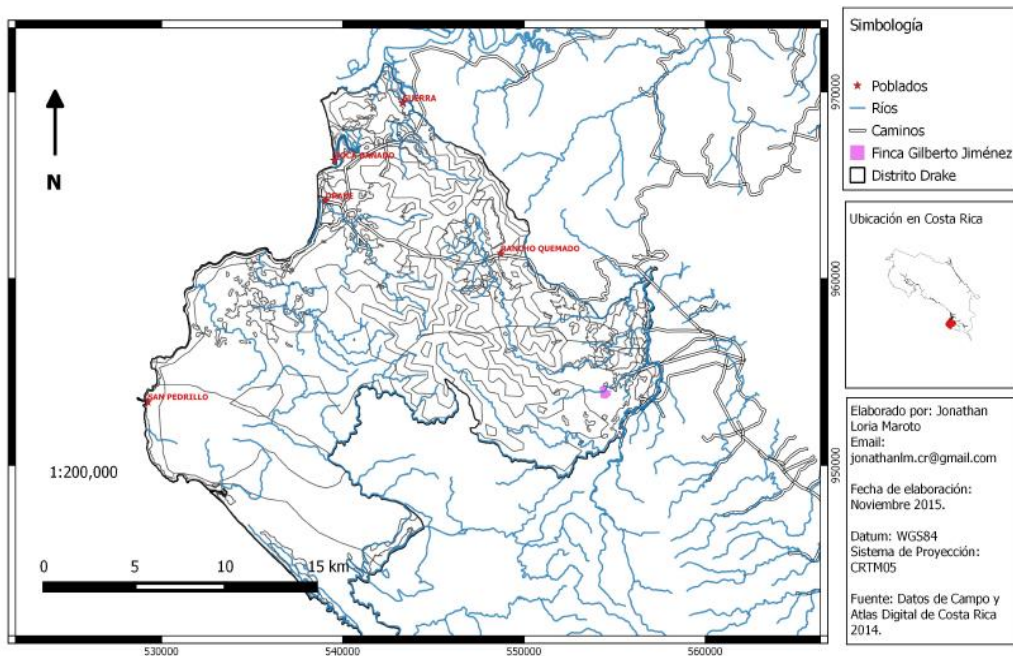


Figura 1. Localización distrital de finca de Gilberto Jimenez Alvarez

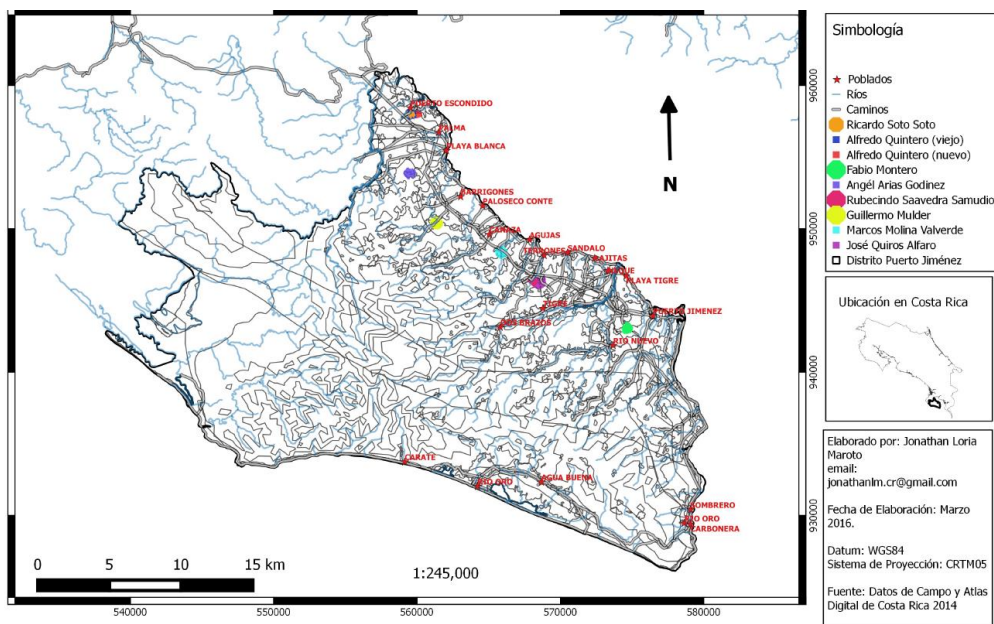


Figura 2. Localización distrital de Alfredo Quintero Quintero.

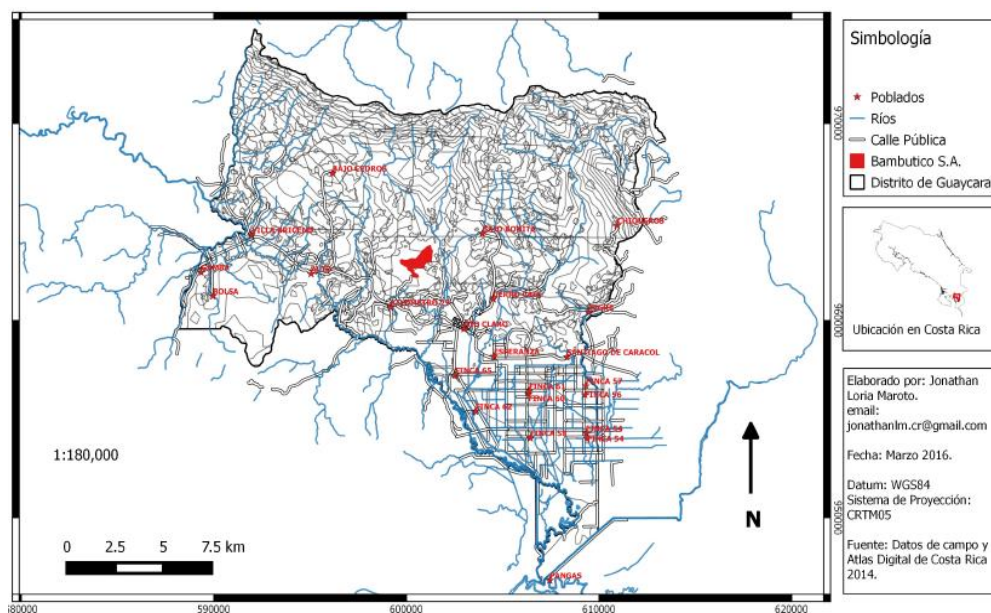


Figura 3. Localización distrital de Guaycará, finca perteneciente a Bambutico.

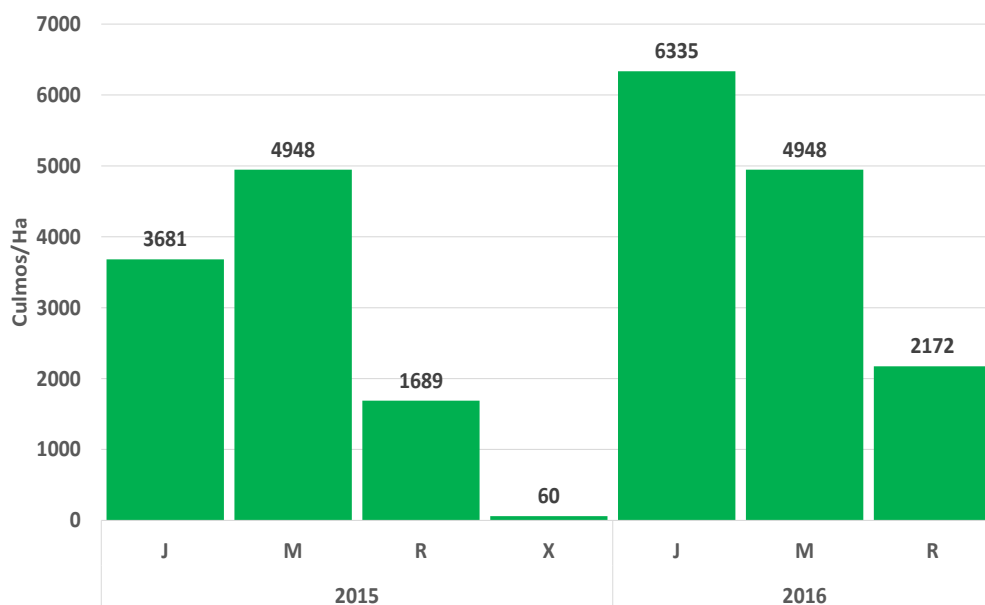


Figura 4. Estados de madurez vs distribución de culmos por hectárea del inventario del 2015 y 2016 para la finca de Gilberto Jimenez Alvarez asociado a OSACOOOP R.L en la Península Osa, Costa Rica.

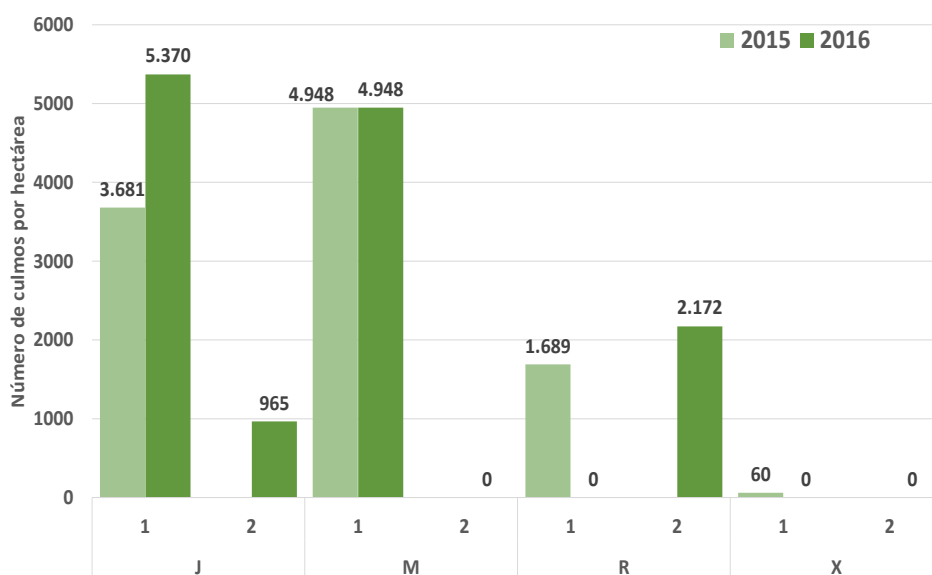


Figura 5. Cambios de distribución y reclutamiento en estados de madurez anual por hectárea para la finca de Gilberto Jimenez Alvarez asociado a OSACOOOP R.L en la Península Osa, Costa Rica.

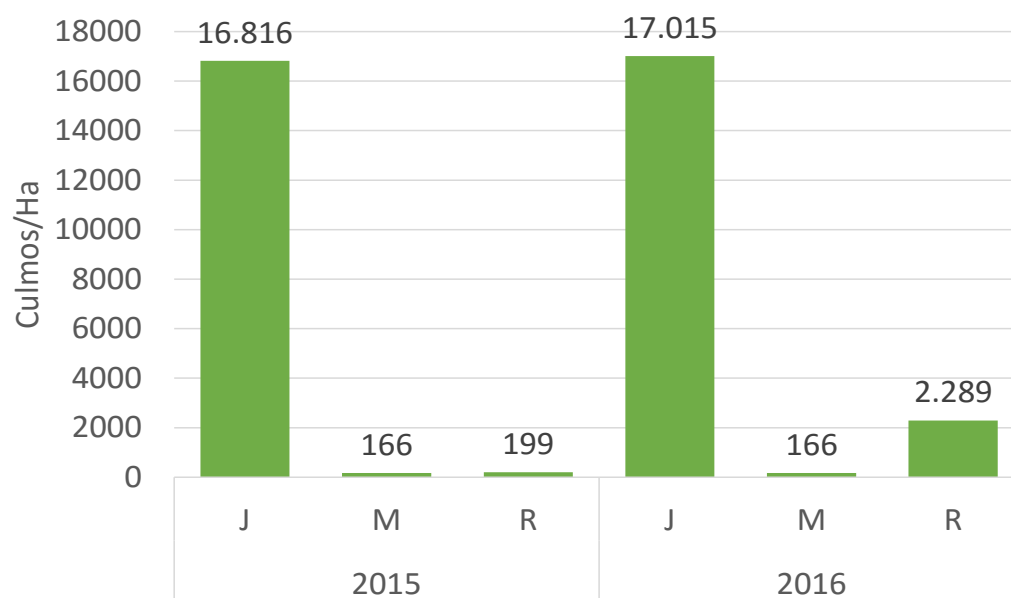


Figura 6. Estados de madurez vs distribución de culmos por hectárea del inventario del 2015 y 2016 para la finca de Alfredo Quintero-Quintero asociado a OSACOOOP R.L en la Península Osa, Costa Rica.

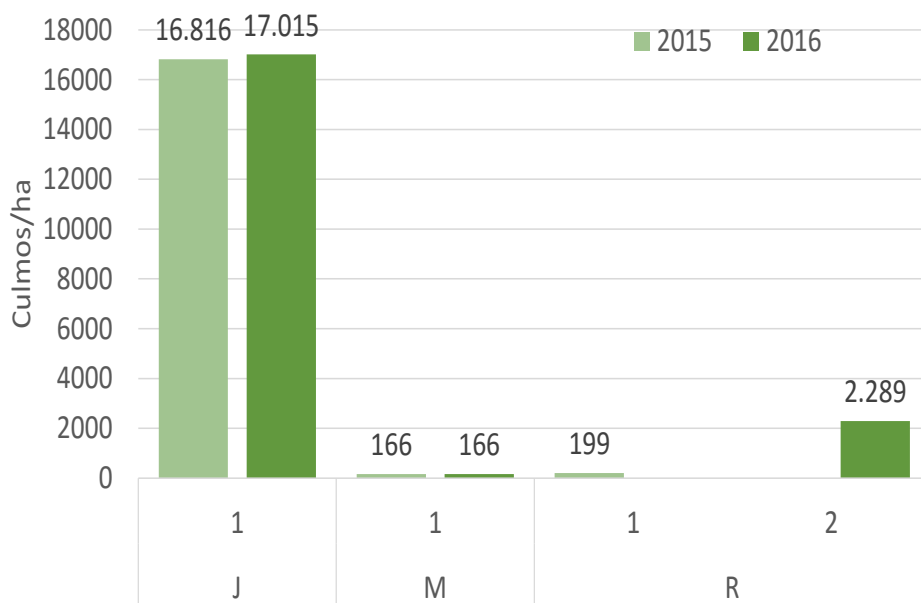


Figura 7. Cambios de distribución y reclutamiento en estados de madurez anual para la finca de Alfredo Quintero asociado a OSACOOOP R.L en la Península Osa, Costa Rica.

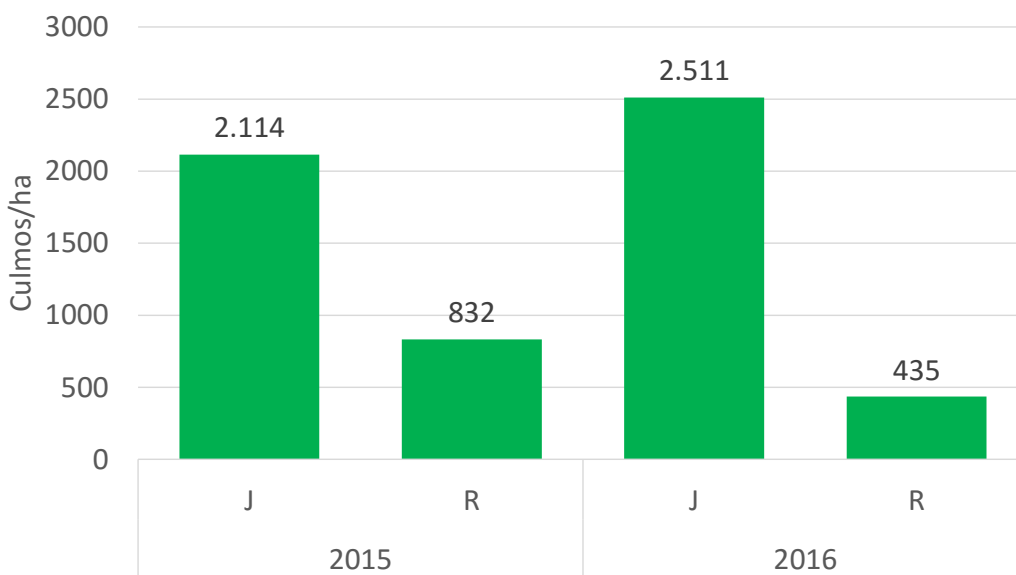


Figura 8. Estados de madurez vs distribución de culmos por hectárea del inventario del 2015 y 2016 para rodal productivo de la finca Bambutico s.a. en el distrito de Guaycará, provincia de Puntarenas, Costa Rica.

Divulgación 7: Guía técnica

Manejo silvicultural de bambú guadua (*Guadua angustifolia Kunth*) en Costa Rica



Cartago, 28 de marzo del 2017
ET 197-2017

Ing. Elemer Briceño Elizondo
Ing. Mario Guevara Bonilla
Ing. Lupita Vargas Fonseca
Ing. María Verónica Villalobos Barquero

Estimados señores:

Para los efectos correspondientes le transcribo el acuerdo tomado por el Consejo Editorial de la Editorial Tecnológica de Costa Rica, en su **sesión ordinaria 392-16**, celebrada el **06 de diciembre del 2016**, y que textualmente dice:

Artículo 5. Obras nuevas

5.2 Guía técnica manejo silvicultural de Bambú Guadua (*Guadua angustifolia Kunth*) en Costa Rica
El señor Aries da lectura a la información complementaria de la obra "Guía Técnica: Manejo Silvicultural de Bambú Guadua (*Guadua angustifolia Kunth*) en Costa Rica" de los autores Elemer Briceño Elizondo, Mario Guevara Bonilla, Lupita Vargas Fonseca, María Verónica Villalobos Barquero. Los miembros del Consejo discuten sobre los aspectos de la obra, el nivel de profundidad y los aspectos didácticos de la misma; los cuales se consideran de interés y pertinencia. Se discute también sobre otras solicitudes que han ingresado de la Escuela de Ingeniería Forestal y que llevan las características de manuales técnicos. Se valora la necesidad de disponer de todos estos documentos para trabajar en una colección de libros, siendo la primera de este tipo. Cada miembro realiza sus comentarios con respecto a la obra. Se acuerda:

ACUERDO EN FIRME:

1. Se acuerda considerar la obra para una edición dentro de una colección de obras.
2. Dar un periodo de espera para recibir al menos 10 manuales de la Escuela de Ingeniería Forestal para trabajar la categoría de Colección Forestal y crear una misma línea de diseño editorial
3. Comunicar el acuerdo a los autores.

Atentamente,



Dr. Dagoberto Arias Aguilar, Director
Editorial Tecnológica de Costa Rica

DAAMVCH

 Expediente de la obra

Apdo. 159-7050 Cartago, Costa Rica. Teléfonos: (506) 2550-2297 / 2550-2336
Fax: (506) 2552-5354 / Correo electrónico: editorial@itr.ac.cr

Divulgación 7: **Guía técnica**

Manejo silvicultural de bambú guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) en Costa Rica



Elemer Briceño Elizondo

Mario Guevara Bonilla

María Verónica Villalobos Barquero

Lupita Vargas Fonseca

Guía técnica

Manejo silvicultural de bambú guadua (*Guadua angustifolia Kunth*) en Costa Rica

Investigación y recopilación:

Elemer Briceño Elizondo

Mario Guevara Bonilla

María Verónica Villalobos Barquero

Lupita Vargas Fonseca

Asesoría Técnica

Gilbert Charpentier

Manuel Retana Jiménez

Alfredo Quintero-Quintero

1	Contenidos	
1.	Introducción.....	86
2.	El bambú guadua en Costa Rica	87
2.1.	Breve historial	87
2.2.	Principales beneficios ambientales de los guaduales.....	89
2.3.	Zonas aptas para la producción comercial de <i>Guadua angustifolia</i>	90
3.	Reproducción.....	91
3.1.	Métodos de reproducción.....	91
3.2.	Viveros	93
3.3.	Preparación del material para el envío al campo	95
4.	Establecimiento de plantaciones.....	96
4.1.	Preparación inicial de los lotes de siembra.....	96
4.2.	Siembra y Fertilización	97
5.	Manejo de plantaciones	99
5.1.	Fases de crecimiento.....	99
5.2.	Labores de mantenimiento	103
5.3.	Raleos	106
5.4.	Programación de ciclos de corta.....	106
6.	Aprovechamiento.....	108
6.1.	Consideraciones importantes durante el aprovechamiento.....	109
6.2.	Clasificación por el largo del culmo y su tamaño.....	109
6.3.	Curado y secado.....	110
6.4.	Seguridad laboral en las labores de aprovechamiento	111
7.	Análisis financiero	111
8.	Bibliografía	117

Introducción

El renovado interés en el establecimiento, manejo, uso y comercio de bambú para la construcción, entre otros, ha llevado a una reactivación en el aprovechamiento de este recurso natural. En Costa Rica han existido, desde la década de los años ochenta, importantes iniciativas sobre su utilización. Razón por lo cual se han probado varias especies y esquemas de productos. Por ejemplo, la confección de muebles o la construcción de casas.

Por características deseadas, solo pocas especies se han favorecido y recomendado para siembra masiva. Entre ellas *Guadua angustifolia* Kunth. Pero no se han dejado de lado alternativas como *Dendrocalamus spp* para una menor escala de plantación. Además, distintas y exitosas empresas se han consolidado en el país. Así que se ha llegado a un nivel en el cual el interés cooperativo se convierte en un esquema ideal para la producción en masa.

Los productos tradicionales que se extraen de este tipo de bambú (como los culmos para construir casas y muebles de varias dimensiones y su utilización como apuntalamiento y en cercas temporales) no son las únicas razones por las que se desea impulsar con más fuerza este recurso. Existen nuevos horizontes de uso que se unen al catálogo de interés para la especie. Por ejemplo, la creación de tableros de fibras comprimidas, que son de fácil acceso en el mercado y fáciles de producir, así como su empleo a modo de materia prima para bioenergía (uso en calderas). Adicionalmente, su uso como regulador de servicios ambientales (conservación de acuíferos, belleza escénica y captura de carbono) no se puede dejar de lado. Se debe aprovechar su comportamiento en el campo y su rápido crecimiento.

Paralelamente, y gracias a estos puntos citados, el sector académico está ha empezado a tener un papel importante en la investigación. Tanto el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), como la Universidad Nacional (UNA), han formalizado proyectos de investigación que van de la mano con los productores, cooperativistas y el gobierno.

Estos proyectos van desde la optimización del manejo para la producción, paquetes silviculturales y hasta la innovación en su uso como reservorio de carbono y reductor de emisiones de gases de efecto invernadero en el ITCR. Además de importantes estudios de cadena de valor en la UNA y estudios de mercado en la UCR.

Estos proyectos buscan retroalimentar al sector productivo del bambú y tener marcos de referencias para la evaluación de la calidad de las plantaciones, su rendimiento y aspectos de interés derivados de la investigación. Es decir, el beneficio de esta nueva etapa va dirigido al productor; ya que es responsabilidad de los silvicultores, cooperativistas, empresas y del sector público apoyar y dar la guía y el apoyo necesario para el éxito de cualquier plantación establecida. Conjuntamente, esta debe estar inmersa en una economía activa que se enfoque en el bambú de alta calidad y ambientalmente sostenible.

El presente manual tiene como objetivo recoger información básica y de primer uso para productores, inversionistas, silvicultores, académicos y el público en general, sobre el establecimiento, manejo, aprovechamiento y consideraciones post-cosecha sobre el bambú *Guadua angustifolia* Kunth en Costa Rica. Por lo que es una referencia general a su cultivo y manejo de acuerdo a las particularidades del terreno y la producción.

Elemer Briceño Elizondo

El bambú guadua en Costa Rica

Costa Rica cuenta con una amplia diversidad de especies de bambú. Entre ellas se encuentran ocho géneros y 39 especies reportadas. Según Montiel y Murillo, (1998), el 50 % de las especies fueron registradas en los últimos 20 años. Igualmente, el uso del bambú no es nuevo en nuestro país. Desde 1988 hasta 1998 se realizó un proyecto del gobierno que impulsaba la vivienda alternativa con este material. Además, se han dado esfuerzos importantes por parte de la Universidad de Costa Rica y por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) para su uso en conservación de suelos; y por voluntarios japoneses en la confección de artesanías.

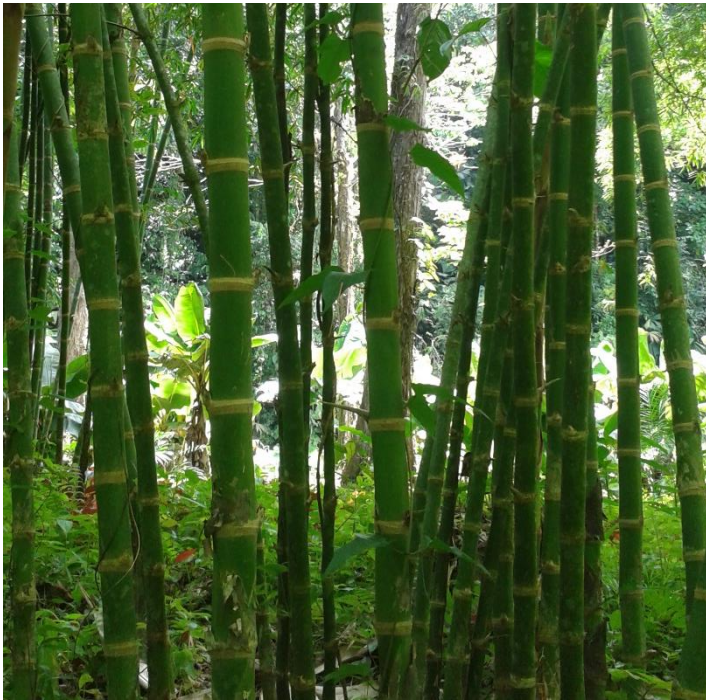
Breve historial

De acuerdo a Montiel (2006), el origen de las especies y variaciones de *Guadua angustifolia* Kunth presentes en Costa Rica es incierto. Aun así, es de conocimiento popular que fueron importadas directamente de Colombia, Brasil y Perú. Las variaciones más discutidas en Costa Rica son conocidas, localmente, como *Atlántica* (*Cebolla* en Colombia) y *Sur* (*Mansa* en Colombia). En Costa Rica, de acuerdo con recolecciones realizadas en Estación Los Diamantes, Guápiles, en la provincia de Limón (*G. angustifolia* f. *atlántica*) y en muestras del Jardín Lankester de la UCR en Cartago (*Guadua angustifolia* f. *atlántica*) a una altitud de 1360 msnm, se pueden clasificar las siguientes variedades (figura 1):

- **Variante *Sur*:** culmos delgados y sin yemas en el tercio central; altura de entre 18 a 20 m; diámetro de 12,5 cm; largo del entrenudo de 20 cm.
- **Variante *Atlántica*:** culmos gruesos con yemas en los tercios superior e inferior; altura de entre 20 a 25 m; diámetro de 15 cm; largo del entrenudo de 25 cm.



a)



b)

Figura 1. Variedades encontradas en plantaciones de la Zona Sur de Costa Rica: a) *G. angustifolia* variante Atlántica. b) *G. angustifolia* variante Sur.

Principales beneficios ambientales de los guaduales

Existen varios beneficios ambientales de los guaduales que son compartidos por varias especies de bambú, así como por otras especies forestales. Por lo tanto, los mismos se pueden ver desde el eje del pago de servicios ambientales.

Específicamente, son:

- **Captura de carbono:** los guaduales tienen la capacidad, como cualquier especie forestal, de almacenar carbono. La captura de CO₂, por su ciclo normal de fotosíntesis, se almacena en tejidos de manera temporal mientras siga en pie y como producto; ya sea rollizo o elaborado. Por lo que, en Colombia, según estudios realizados por INBAR (2009) y Riaño *et al* (2002), puede capturar hasta 54 toneladas C/ha en un periodo de seis años y hasta unas 110 toneladas C/ha en diez años en Bolivia (Rojas, 2009). Sin embargo, las condiciones son variadas y el número para Costa Rica es determinado, en la actualidad, por estudios ambiciosos.
Asimismo, la captura de carbono y el aumento del reservorio de carbono no se restringe al material comercial o aéreo, ya que el rizoma sigue extendiéndose en el terreno; por lo que se incrementa dicha captura de manera más eficiente que en un árbol. Es decir, que al ser cosechado el culmo, o tallo, el rizoma permanece para dar seguimiento a los ciclos de crecimiento. Además, el carbono del suelo también aumenta por la incorporación de hojarasca y raíces finas al carbono orgánico del suelo.
- **Recurso hídrico:** los guaduales tienen una capacidad alta de almacenaje de agua. Acorde con Retana (2015)⁴, el suelo se convierte en una esponja que absorbe y retiene el agua, por lo que permite que esta se filtre hacia las capas internas; por lo que se regula el caudal de los ríos y quebradas.
- **Protección de erosión:** debido a la estructura del sistema radical, la cual es abundante en raíces finas, las macollas de bambú guadua ayudan a amarrar el suelo (figura 2).
- **Belleza escénica:** el paso de un área degradada o con agricultura marginal a un paisaje de guaduales es atractivo a la vista. Así que se genera, no solo una continuidad verde para la vista, sino que se crean microclimas de temperaturas bajas en las áreas plantadas.
- **Biodiversidad:** es un potencial refugio para fauna en tránsito de un área boscosa a otra. También debe ser tomado en cuenta que el mismo guadual forma un ecosistema por sí mismo. No es aislado el hecho de que los microclimas generados permiten que comunidades de insectos logren

⁴ Retana 2015: Comunicación personal

un nicho en los guaduales; y estos, a su vez, forman una cadena trófica con otras especies, tanto animales, vegetales como microbianas.



Figura 2. Protección de quebradas con *Guadua angustifolia*, en Pérez Zeledón, Costa Rica.

Zonas aptas para la producción comercial de *Guadua angustifolia*

La *Guadua angustifolia* es una especie muy adaptable, lo que se ve reflejado en su amplia distribución. Sin embargo, el buen desarrollo de la planta está directamente relacionado con la calidad del sitio en donde se encuentra, la precipitación y la temperatura. Por lo general, la especie se desarrolla entre los cero y 1 800 m de altura sobre el nivel del mar a temperaturas que oscilan entre los 17 °C y 26 °C con precipitaciones de 2 000 a 2 500 msnm por año como mínimo.

Un análisis realizado por Retana (2015⁵) demostró que los suelos propicios para la plantación de bambú son los de origen volcánico. Otros suelos pueden presentar texturas areno-limosas y franco-limosas; o suelos pesados o arcillosos que no son buenos para el desarrollo de la planta. Idealmente, los suelos recomendados deben ser ricos en materia orgánica, con buenos drenajes. Deben ser húmedos, pero no inundables; no debe de existir compactación y debe de haber una profundidad efectiva desde moderada

⁵ Retana 2015: Comunicación personal

hasta muy profunda (figura 3). El perfil del suelo ideal es el que presenta texturas gruesas y medias, con una textura liviana a mediana.

En Costa Rica la variedad *Sur* se da en elevaciones desde los cero hasta los 1 800 msnm, donde su desarrollo óptimo es a los 1 600 msnm. La variedad *Atlántica* se desarrolla muy bien de los cero a los 1 600 msnm. En términos de temperatura se ha observado que *G. angustifolia* en su dos variedades crece más lento a temperaturas bajas.



Figura 3. Paisaje de bambú (*Guadua angustifolia*) en río Claro, Costa Rica.

Reproducción

Métodos de reproducción

Semillas: acorde a lo expuesto por Charpentier (2016⁶), usar semilla no es viable dado que la germinación es del 1 %, aproximadamente. Esto quiere decir que la floración del bambú solo se presenta a intervalos o ciclos muy largos, por lo que no es común el empleo de semilla para su propagación.

Vegetativa o asexual: debido a la dificultad de su reproducción sexual, existen diversos métodos de reproducción asexual. Los principales y más comunes, se describen a continuación. Asimismo, se ilustran brevemente en la figura 4, ya que se hace énfasis en el método más prominente en la sección siguiente.

⁶ Charpentier 2016: Comunicación personal

Método de Chusquines: este método consiste en buscar las plántulas que recién inician su crecimiento en el campo. Es un método común en Colombia y Costa Rica, lugar donde se desarrolló. El chusquín, según Botero (2003), es una planta delgada y pequeña que sale del suelo como brote del rizoma y que logra desarrollar un sistema radical independiente. Su aparición se da como respuesta a la falta de follaje de la planta madre que lo origina, o para aumentar las probabilidades de sobrevivencia y para colonizar nuevas áreas al verse afectada la planta madre. Este método es característico para la variedad *Surr*. Los chusquines son recolectados en el campo. Luego, se separa con cuidado la planta pequeña de su origen. Esta, en su primera fase de desarrollo, genera brotes igual de delgados y pequeños, pero que cumplen el papel de colonización del área donde está plantado (banco de propagación). Posteriormente, y una vez que estén establecidos, los brotes de mayor dimensión empiezan a aparecer. El momento de la propagación se da con los brotes delgados; los cuales deben ser seleccionados, separados y replantados en el área de vivero preparada para ese propósito (deshije). Después, el proceso iniciará de nuevo hasta lograr tener el área de reproducción deseada.

Se debe mantener un adecuado control de malezas y un riego. En promedio este método puede proveer diez brotes en 90 días después del chusquín que los originó.

Cortes del rizoma: es una forma segura y efectiva; su eficiencia en términos de supervivencia casi siempre es del 100 %. Los rizomas se obtienen de entre uno a dos años de edad luego de la siembra. Los brotes, a partir de cortes de rizomas, aparecen entre los 30 y 35 días de haberlos sembrado.

Existen dos variantes:

- a) Siembra del rizoma: consiste en sacar los rizomas de entre dos a cuatro años de edad. Se cortan secciones de 30 cm que se trasplantan y se vuelven a sembrar a diez cm máximos de profundidad;
- b) Trasplante de rizomas: a matitas de entre uno a dos años de edad se les cortan los tallos a dos m de altura y se excava la raíz con el rizoma para ser trasplantada (Mercedes, 2006).

La propagación por sección de tallos: esta modalidad requiere del aprovechamiento de tallos jóvenes o secciones de tallo de entre dos a tres años de edad. El procedimiento consiste en fraccionar el tallo en unidades de dos o tres entrenudos que contengan entre tres a cuatro nudos con buenas yemas. Este método es el recomendado para propagar plantas de variedad *Atlántica*. Entre cada dos nudos se hace un hueco y se llena de agua; posteriormente, se tapa y se cubre con

tierra. Los tallos no deben ser muy gruesos (máximo cinco cm de diámetro). Una variante del método, también trabajable con la variedad *Atlántica* y en el género *Dendrocalamus spp*, consiste en la corta de tallos a ralear. Se utilizan secciones alrededor del nudo de las ramas laterales para trasplantarlas, directamente, en el área de reproducción con enraizador (sea a bolsa, bancales o cama), de donde se extraen las plántulas.



Figura 4. Métodos de reproducción para vivero: a) Chusquines, b) Tallos. c) Rizoma

Viveros

El sistema de producción en vivero dependerá mucho del método de propagación escogido. Ya que las floraciones en bambú son extremadamente infrecuentes, no es viable pensar en la reproducción a gran escala por este procedimiento. Precisamente, en esta sección se hace referencia al método de chusquines.

Lo primero es la adecuada preparación del terreno para producción en vivero, como se muestra en la figura 5. El Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG, 2010) señala que para la multiplicación del material vegetativo, cuyas características se muestran en la figura 6, se realiza la preparación de las camas de propagación de 40 cm de espesor para colocar los chusquines. Y, luego cuando se encuentren bien desarrollados (se obtienen brotes de mayor tamaño) se deben pasar a bolsas.



Figura 5. Propagación de chusquines: preparación de camas de propagación. Pérez Zeledón, Bambutico S.A.



Figura 6. Propagación de chusquines: material a plantar en camas de propagación. Pérez Zeledón, Bambutico S.A.

Conforme a lo estipulado por KFRI (2014), el tamaño de las camas de reproducción dependerá del espacio disponible. Las dimensiones recomendadas (figura 7) son 12 m de largo x 1,2 m de ancho por 0,40 m de alto. Se debe recordar que una parte de la población siempre será usada para mantener el vivero como material parental. Esto asegurará una producción sostenible de material de siembra cada año. El aspecto ideal del material para pasar a bolsa son los chusquines que hayan desarrollado de seis a siete tallos. Por lo tanto, el máximo que se puede reproducir el material es dos veces al año (Charpentier, 2016⁷). Más allá de cierto tiempo, según KFRI (2014), existe la posibilidad de que los propágulos se debiliten y salgan con menos vigor al campo y con una peor tasa de supervivencia.

Preparación del material para el envío al campo

El material a plantar, por lo general, se trasplanta a bolsas de 8 x 4 cm para una estadía en el vivero de, aproximadamente, tres meses; o hasta que la vigorosidad necesaria para sobrevivir en campo sea alcanzada (figura 8-9). El transporte se realiza al momento de siembra (o máximo un día después). Se debe de tener el cuidado de no agitar demasiado las bolsas en el transporte al campo. La recomendación brindada por Briceño (2015⁸) es llevar el material en transporte cubierto (protegido del viento y sol) para evitar el desecamiento o maltrato. Las condiciones de campo serán bruscas para las plantas al inicio. Por lo tanto, un estado saludable, caracterizado por un fuerte color verde en las hojas, la ausencia de guías secas y un tamaño adecuado (de 30 a 40 cm de alto) debe garantizarse para reducir la mortalidad.



⁷ Charpentier 2016: Comunicación personal

⁸ Briceño 2015 Comunicación personal.

Figura 7. Propagación de chusquines: extracción de chusquines para trasplante a bolsa. Perez Zeledón, Bambutico S.A.



Figura 8. Propagación de chusquines: Material en bolsa en etapa de aclimatación en vivero. Perez Zeledón, Bambutico, S.A.

Establecimiento de plantaciones

Preparación inicial de los lotes de siembra

Para tener un buen acceso a la plantación, los caminos deben establecerse, preferiblemente, antes de la siembra. Si el terreno es inclinado, se deben hacer los accesos por la parte baja, por lo que se deben ubicar caminos cada 100 m para que el bambú se extraiga de la plantación desde el centro hacia los costados. Retana (2015⁹) aconseja un recorrido de 50 m como máximo hasta el camino. En terrenos muy inclinados se deben diseñar sistemas de cables o canoas para deslizar el bambú. Si la plantación tiene menos de dos años, lo recomendable es carrillar el terreno (Retana, 2015).

Los sitios donde se sembrarán las plántulas son, en esencia, los más necesitados de cuidado. Deben de quedar totalmente limpios de maleza, sin tocones, ramas o raíces y libres de obstáculos para facilitar la siembra de las plántulas y su posterior desarrollo. Cuando la preparación del suelo en áreas planas se hace de forma mecanizada las plántulas sembradas tienen mejor desarrollo vegetativo. Eso si se compara con aquellas sembradas en suelos donde la preparación se da de forma negligente. Naturalmente, la

⁹ Retana 2015: Comunicación personal

preparación previa del terreno implica la buena marcación de la densidad de siembra. Generalmente, 5 x 5 m en plantaciones comerciales y las rodajas necesarias.

Siembra y Fertilización

Espaciamiento: de acuerdo con experiencias en empresas nacionales, la distancia de siembra para fines de generación de culmos con fines comerciales es de 5 x 5 m en arreglo de *tresbolillo* o *pata de gallo* (Retana, 2015). Así se promueve, con este distanciamiento, un mejor desarrollo del diámetro y la altura de los tallos. Especialmente, los que están en el borde de la plantación, debido a que reciben una mayor cantidad de horas de luz solar. Estos presentan una menor competencia entre plantas y las condiciones de la temperatura exterior del rodal favorecen su desarrollo. Por lo tanto, su dosel demora más tiempo en cubrir el terreno (20 meses).

Para establecer plantaciones productoras de guadua a nivel comercial se han evaluado distancias de siembra de 3 x 3 m y, luego, de 4 x 4 m para, después, llegar a distancias ideales de 5 x 5 m. Igualmente, el sistema de siembra depende de la topografía del terreno. De esta manera, Charpentier (2010) recomienda un sistema en hileras cuadradas cuando la pendiente es menor al 25 %

Otros distanciamientos son posibles, pero depende de los objetivos de la plantación; esto determina la densidad de población. Para la conservación de suelos se recomienda un distanciamiento más denso. Puede ser también en *tresbolillo*, pero la distancia mínima entre plántulas debe ser de 2,5 x 2,5 m. Cuando se realizan plantaciones para proteger y conservar taludes adyacentes a corrientes de agua, el trazo se efectúa, dependiendo de la inundabilidad del terreno, a partir de uno o dos m del área mojada.

De la misma manera, Charpentier (2010), menciona que normalmente, en orillas de ríos y quebradas se siembran entre dos y tres surcos a la distancia antes recomendada. Esta distancia de siembra, bajo buenas condiciones ambientales y edafológicas, más el acelerado manejo posterior a la siembra, permite obtener, gracias a su abundante follaje, una cubierta de copas protectora en el lapso de 12 a 15 meses, después de establecida la plantación.

En la figura 10 se puede observar un diseño de plantación comercial convencional de cuatro años de edad con un buen manejo de malezas a 5 x 5 m de distancia.



Figura 9. Distanciamiento en plantaciones comerciales de *Guadua angustifolia*. Finca Gilberto Jiménez, Riyito de Palma de Osa, Costa Rica.

Al momento de la siembra es importante registrar en la bitácora de campo toda la información posible relacionada con el área sembrada, la fecha, la distancia de siembra, la densidad de población, la forma o especie de guadua empleada, la procedencia del material, entre otros. Dicha información sirve como historial de la plantación y es referencia para el productor.

De acuerdo a un estudio realizado por Giraldo (2008), como norma general, durante la fase inicial del cultivo de gramíneas se recomienda el empleo de fertilizantes con bajo grado de nitrógeno, alto de fósforo y moderado de potasio. En la mayoría de las regiones, las recomendaciones acerca de la fertilización se dan basadas en los resultados de las investigaciones y las experiencias. Si bien tales recomendaciones no se deben generalizar, sí significan un incremento importante en los rendimientos de cualquier región donde se desarrolle la guadua; eso si los agricultores las siguen en forma sistemática.

En rodales naturales de guadua las condiciones del suelo marcan un punto de referencia que sirve como indicador para establecer, de manera general, las condiciones ideales que deben caracterizar la fertilidad de los suelos propicios para establecer, mantener y mejorar guaduales. Conforme a Cruz (2009), el orden de extracción de elementos mayores y menores tanto en plántulas, como en guaduales adultos en Colombia, es el siguiente, de mayor a menor: K, N, Ca, Mg, P y Fe, Zn, Mn, B, Cu. Naturalmente, al

tratarse con una gramínea, sus mayores exigencias serán en nitrógeno, ya que, como se ha reportado en literatura por Ledgard y Steele (1992), las gramíneas tienden a proliferar cuando hay mayor nitrógeno en el suelo.

Dosificación de la fertilización: la correcta dosificación y mantenimiento de un programa de fertilización ayuda al buen desarrollo del cultivo. De manera tradicional, la fertilización en siembra para desarrollo de raíz (cuadro 1, capítulo 8) ocupa 50 g por planta de 10-30-10 (N-P-K). Por lo que se aprovecha al máximo el fósforo en esta etapa. Del primer al cuarto año, se debe cambiar la fórmula a 18-5-15 (N-P-K) en tres ciclos anuales y con una dosis de 50 g por planta en el primer año. En el segundo año se debe subir la dosis a 100 g por planta y adicionar 100 g de urea cuando finaliza la época de lluvias. La misma fertilización se aplica al tercer año con un cambio de dosis a 150 g para el 18-5-15. Lo ideal es realizar un análisis de suelo para determinar las cantidades correctas a suplir. Del quinto al noveno año (cuadro 3, capítulo 8), después de las primeras cosechas, se recomienda agregar en dos ciclos por año un kg de fórmula por planta. Esto con el propósito de fortalecer tanto a los rebrotes futuros como a la cepa remanente.

Otras alternativas sugieren la utilización de abonos orgánicos en el establecimiento. Estas recomiendan usar una dosis de 500 g de boñiga en el fondo del hueco de la siembra para, luego, cubrirlo con una capa de suelo y colocar la planta. El resto del programa de fertilización puede adoptarse como se mencionó con anterioridad.

Manejo de plantaciones

Fases de crecimiento

Charpentier (2010) señala que un guadual que tenga un desarrollo adecuado, debe ser auto-regenerable y sostenible con una productividad máxima y rentabilidad equilibrada. Del mismo modo, debe contener en su estructura horizontal entre el 65 % y 70 % de guadas maduras, 20 % y 25 % de guadas jóvenes, del 5 % al 10 % de renuevos y entre el 2 % y el 5 % de guadas secas.

Rebrote: se llama rebrote al primer individuo de la fase del desarrollo (figura 11) porque se caracteriza independiente del sistema de multiplicación del cual provenga (reproducción o propagación). Además, este siempre emerge con su diámetro definido, debido a que no posee células de cambium o procambium que diferencien sus tejidos hacia afuera. En este proceso alcanza, durante los primeros 30 días, entre cuatro a seis cm de grueso en 24 horas. Y, al mismo tiempo, el 60 % de este se realiza en horas nocturnas por acción de auxinas.

En términos generales, en la fase de rebrote, desde que emerge del suelo hasta que llega a su máxima altura, tarda entre 150 y 190 días. Pero esto depende de las condiciones de distribución de las lluvias y de la temperatura. Posteriormente, el tallo detiene su crecimiento, comienza el desprendimiento de las hojas caulinares y se da paso a la formación de ramas basales y apicales por activación de las yemas nodales. En la fase de rebrote normalmente hay ausencia de ramas basales y apicales y presencia de hojas caulinares que bordean o recubren los nudos de manera superpuesta y localizadas desde la parte basal a la apical. Conjuntamente, en esta fase la resistencia del tallo es mínima. Por último, la emergencia de brotes se da una vez al año; es decir, los brotes aparecen en agosto.



Figura 10. Estados de madurez *Guadua angustifolia*, Zona Sur, Costa Rica: rebrote nuevo.

Culmo joven: esta fase se inicia cuando las hojas caulinares de la parte apical del culmo comienzan a desprenderse. Una a una le da paso a las ramas primarias, que a su vez están cubiertas por hojas caulinares pequeñas, que en forma similar comienzan a caer para dar salida a las ramas secundarias. El culmo joven se caracteriza por tener entrenudos de coloración verde intenso y lustroso y nudos con bandas nodales de color blanquecino (figura 12). Estos tienen un ancho de dos a tres cm. Asimismo, posee pubescencias de color café claro visibles en la parte superior del nudo o banda nodal donde se encuentran. Además, las yemas nodales sobresalientes pueden o no activarse y dar origen a ramas inferiores o superiores. Los entrenudos son limpios e inicialmente blandos por carecer de lignificación completa. También, las paredes presentan un grosor de entre uno a 2,5 cm que varía de acuerdo a su biotipo. En este estado la guadua está cargada de humedad, por lo que es visible su conformación fibrosa.

Se puede agregar que en un guadual natural el individuo joven tiene una transitoriedad de seis a 24 meses y no ha conseguido el grado de resistencia ideal para ser utilizado. Esto debido al alto contenido de humedad. Por lo que estos culmos no están listos para ser cortados, ya que su cubierta externa o cutícula no se ha lignificado completamente; tampoco su interior. Además, la parte inferior del tallo, generalmente, presenta coloración amarilla, ya que la fibra tampoco se ha lignificado.



Figura 11. Estados de madurez *Guadua angustifolia*, Zona Sur, Costa Rica: macolla de culmos jóvenes.

Culmo maduro: se caracteriza por la desaparición en el tallo del lustre del entrenudo. Igualmente, se caracteriza por poseer una coloración más clara. Además, se hace evidente la aparición de manchas de hongos color gris claro de forma redondeada a alargada (característica de calidad cuando no se sabe la edad precisa). Al observarse estas características se sabe que el culmo ha adquirido la condición apta para ser aprovechado (figura 13), ya que el tallo está en el óptimo grado de resistencia.

Normalmente, la edad de corta rondará el promedio de cuatro años. Y esta es la única fase apta para el aprovechamiento de los tallos. Charpentier (2010) indica que se debe considerar, por la evolución intrínseca del guadual, este tipo de tallo se encuentra en mayor proporción en el interior y menor en su periferia. Si se sigue una programación de corta adecuada, se puede asegurar tener las tres generaciones en la plantación. Por último, cabe recalcar que no se debe permitir que la plantación presente culmos secos o muy maduros en ningún momento (figuras 14-15).



Figura 12. Estados de madurez *Guadua angustifolia*, Zona Sur, Costa Rica: culmos maduros.



Figura 13. Estados de madurez *Guadua angustifolia*, Zona Norte, Costa Rica: culmos sobre maduros.



Figura 14. Estados de madurez *Guadua angustifolia*, lago Arenal: culmos secos.

Labores de mantenimiento

Poda de formación: una vez establecida la plantación (es decir, aquella que ya tiene al menos entre uno a dos años de sembrado) se debe tener el cuidado de eliminar los culmos iniciales de diámetro pequeño o los culmos secos, o que no tengan ni valor comercial ni función de estabilidad para la macolla, ya que han perdido su vitalidad. Según Briceño (2015)¹⁰, lo anterior es importante para poder dar espacio de crecimiento a otros rebrotes; así se elimina la auto-competencia por recursos y se regula la luz y la temperatura a nivel del suelo en la plantación. Esto también es necesario para evitar focos de infección o la aparición de hormigueros

Raleos de mejoramiento: entre el primer y segundo año de la plantación, se deben cortar los tallos partidos, enfermos o secos y las ramas que formen congestiones o que estén totalmente secas. A esta práctica se le denomina comúnmente raleo y se realiza cuando el guadual se ha desarrollado, pero aún no ha originado guaduas con diámetros y alturas homogéneos y comercialmente aptos (Briceño, 2015).

¹⁰ Briceño 2015: Comunicación personal.

Control de espinas: en algunas plantaciones, se ha empezado a utilizar la técnica del control de espinas descrita por Retana (2015¹¹). Esta técnica es aplicable a la variedad *Atlántica*, por su profusa generación de ramas laterales. Esta técnica consiste en prevenir la emergencia de ramas laterales con un control físico. Es decir, donde la yema que originaría una rama se martilla levemente (sin dañar el culmo) con un mazo con el propósito de eliminar su posibilidad de emergencia. Esta práctica se puede extender desde la aparición de las yemas hasta los tres m de altura donde salen las ramas con espinas (en especial, en la variedad *Atlántica*). Asimismo, es de fácil aplicación y significa un ahorro a futuro en jornales para el desrame. Además, constituye un aumento en la seguridad, porque hay menos espinas; y en la rapidez de otras labores, como corta y extracción, ya que no hay que desenganchar ni podar.



Figura 15. Dificultades en la futura cosecha afrontadas por el mal manejo de yemas y la falta del manejo.

Poda de ramas basales: el desrame y desganche es una actividad de mantenimiento necesaria para ayudar a la cosecha y la movilización en la plantación. Asimismo, las labores de cosecha y extracción se volverían difíciles e ineficientes con el tiempo si el desganche no se realiza previamente.

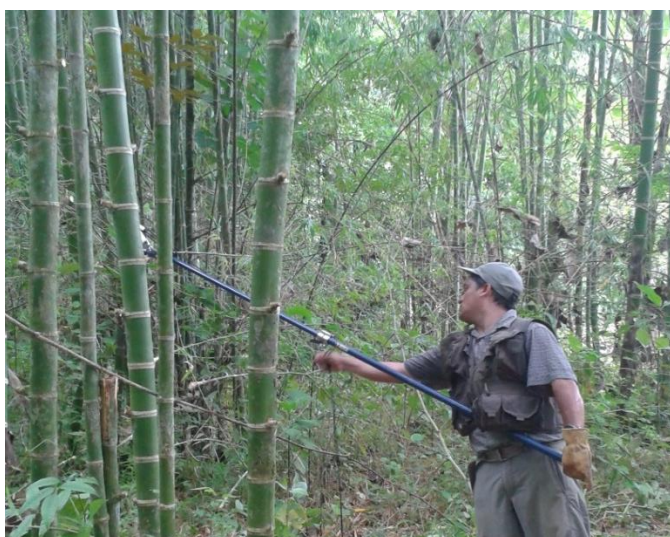
Necesariamente, los instrumentos deben ser los adecuados. Por ejemplo, las podadoras de rabo de zorro (figura 16-17) con mango extensible y podadoras extensibles convencionales.

La altura máxima a la cual se desrama también debe ser la adecuada. Por lo general, esta altura depende del operador, pero una altura de entre tres y cuatro m es conveniente para agilizar las labores. Se debe

¹¹ Retana 2015: Comunicación personal

dejar parte de la rama al hacer el corte para evitar posibles daños al culmo a la hora de la actividad de manejo y prever focos de infección. La distancia recomendada es, por lo general, de tres cm como máximo y un centímetro como mínimo. Las ramas recién cortadas deben ser acumuladas cerca de la macolla para luego ser picadas y así facilitar su extracción. Se deben usar guantes para evitar cortes en las manos por las espinas y también para agilizar la actividad. El propósito del desrame y desganche es la apertura de espacio entre culmos, la facilitación de la extracción, la mejora visual del aspecto de la plantación y permitir la entrada de luz al centro de la macolla.

a.)



b.)



Figura 16. Realización de podas con a) Podadora extensible b) Rabo de zorro extensible en plantaciones de *G. angustifolia* variante *Atlántica* en La Palma de Osa, Costa Rica. Fotos: OSACOOOP.

Raleos

A partir del cuarto año de sembrada la planta original, se empiezan a tener rebrotes con dimensiones comerciales. Es decir, a alturas desde diez a 12 m con diámetros de cuatro a seis cm. En esta etapa los inventarios de existencias son prioritarios para la planificación de la cosecha. Entre los tres y seis años, y con los inventarios de la plantación, se pueden empezar a planear raleos.

La plantación podrá presentar alturas de 12 a 15 m y un incremento de los diámetros de nueve y 11 cm; si se han dado las condiciones del suelo y de manejo adecuadas. Dimensiones mayores se presentarán al pasar el tiempo, al estandarizarse los patrones de la altura promedio de 15 a 18 m y diámetro entre diez y 12 cm, así como un promedio de 3 000 a 4 000 culmos por hectárea. La cantidad de culmos a extraer no debe superar el 40 % de los culmos totales, ya que se puede afectar la estabilidad de las macollas.

El inventario ayudará a identificar la población madura y planificar esa cosecha; la cual puede ser extraída en su totalidad, siempre y cuando, se puedan dejar entre 2 500 a 3 000 culmos por hectárea, entre jóvenes y renuevos para mantener los ciclos de cosecha. Cierta parte de la población a extraer se puede dejar para un periodo posterior y así mantener un número de culmos adecuado y no restar fuerza a la plantación; con lo que se ayuda a la aparición de renuevos.

Programación de ciclos de corta

La plantación adquiere el estado adulto cuando se establece una época de brotes definida una vez al año. Por lo que a partir de ese momento se marcan los tallos para saber la edad que tienen. Por lo general, se marcan con el número del año en que nacen. Esta rotulación se debe hacer de manera distinguible en el campo. Para este caso, Bambutico (2015)¹² recomienda un código de colores o placas para distinguir entre un año y el otro.

Periodo de corta: este se define como el lapso de tiempo que transcurre desde la aparición del rebrote hasta llegar al estado de madurez del mismo. Después del promedio de cuatro años se considera que el culmo es apto para ser cortado.

Tiempo para el cambio de estado: es el tiempo que transcurre entre una fase de desarrollo y otra; es decir entre el paso de rebrote a culmo joven y de culmo joven a culmo maduro. En este lapso de tiempo

¹² Bambutico: Comunicación personal

pueden trascorrir entre 100 a 180 días entre rebrote a culmo joven; y de culmo joven a maduro entre los 180 días a los dos años.

Ciclo de corte: el tiempo que debe transcurrir entre dos aprovechamientos de un mismo rodal depende de la capacidad de regeneración natural del mismo, de la calidad de sitio del guadual y de las prácticas silvícolas que se le apliquen al rodal durante y después del aprovechamiento. La marcación anual de salida de rebrotes ayuda a la adecuada programación del ciclo de corte.

El conocimiento del ciclo del guadual y la diferenciación de los elementos que lo conforman permiten el aprovechamiento técnico; además, permite conocer la dinámica de productividad. Cuando los rodales de guadua no se aprovechan, se presentan densidades muy altas con un alto porcentaje de culmos sobre maduros e incluso secos, donde la capacidad de regeneración natural es poca. Esto debido al mínimo porcentaje de rizomas aptos para esta función, la sobrepoblación, la reducción de espacios y a la excesiva competencia por nutrientes (figura 17-19).



Antes de raleo



Después de raleo

Figura 17. Macolla antes y después de raleo tardío en plantaciones de *G.angustifolia* variedad *Sur* (a,b) y *G.angustifolia* variedad *Atlántica*.



Figura 18. Realización de raleos adecuados en el tiempo y aspecto de macollas. Plantación Bambutico a tres años de establecida.



Figura 19. Realización de raleos adecuados en el tiempo y aspecto de macollas. Plantación OSACOOOP a nueve años de establecida.

Caso contrario son los rodales de guadua que son explotados con severa intensidad. Se crean desbalances en su composición estructural y se generan, en su interior, condiciones de microclima desfavorables debido a la fuerte claridad que influye, negativamente, en la dinámica de su regeneración natural. Esto porque se aprovechan tallos poseedores de rizomas aptos para generar nuevos rebrotes.

Aprovechamiento

Consideraciones importantes durante el aprovechamiento

Alegría (2013) indica que los culmos se extraen en función de la programación de la corta y la marcación hecha. Los instrumentos deben estar afilados. Si se está cortando con serrucho o con motosierra, los cortes no deben realizarse en el nudo y la dirección de caída debe estar controlada para evitar dificultades en la extracción. La extracción debe ser planificada para minimizar la distancia de transporte del sitio de corta hasta el primer camino en que se encuentre el camión. Se deben de aprovechar los accesos que ya están establecidos. Y se espera que los caminos estén en buenas condiciones para facilitar el transporte de los culmos hasta el punto de acopio.

Como prácticas culturales en un aprovechamiento de gradual siempre se debe de tener presente:

- Mantener en buen estado los caminos y sitios de acopio y abrir nuevos accesos a la plantación.
- Respetar la duración del ciclo de corta establecido en el inventario.
- Evitar la disposición de residuos de la cosecha al cauce de las quebradas.
- Picar los desechos de la cosecha y distribuirlos dentro del gradual.
- El corte debe hacerse con precisión.
- Trabajar con una cuadrilla de trabajadores capacitados y responsables que usen la vestimenta y las herramientas apropiadas.
- Registrar las labores diarias en el gradual, así como los incidentes.
- Arreglar los cortes cuando estos se han hecho en forma inadecuada.
- Eliminar los culmos secos y aquellos partidos o enfermos.
- Separar los culmos para su comercialización en base a su categorización diamétrica.

Clasificación por el largo del culmo y su tamaño

En términos de dimensión de culmos, se recomienda hacer la clasificación del largo en el campo para facilitar la extracción. Conforme con Retana (2015)¹³, esta práctica facilita la manipulación y la clasificación del producto, del cual depende su uso en el futuro. Los restos no comerciales pueden ser picados y esparcidos en el sitio. Una vez en el sitio de acopio o depósito, es necesario mantener esta clasificación, incluso con códigos (pueden ser códigos de colores basados en clases diamétricas), para facilitar la escogencia y comercialización del producto. Al tener los culmos previamente seleccionados no

¹³ Retana 2015: Comunicación personal

se gastan recursos económicos ni humanos en transporte de materia prima inadecuada para la comercialización.



Figura 20. Dimensiones del producto en bodega listo para ser comercializado. Fotos: Bambutico.

Curado y secado

Existen al menos tres métodos para el curado de piezas de bambú. Estos son el boucherie, la inmersión y la capilaridad.

Boucherie: es el método más usado en Costa Rica y consiste en el desplazamiento de la sabia a presión. Los culmos son conectados a un sistema de mangueras, donde se envuelve un extremo del culmo con hule y se sella contra cualquier fuga. Este hule está conectado a la manguera con una llave de paso que regula la inyección de la solución de curado que funciona por gravedad. Esta, por lo general, es de bromuro de plata en una concentración de siete kilos de ácido bórico por cuatro kilos de sulfato de cobre, en una solución en agua.

Inmersión: es un método de curación que requiere de una adecuada planificación. Utiliza una tanqueta, generalmente, de concreto de dimensiones definidas donde los culmos se sumergen en la solución durante cuatro días.

Capilaridad: consiste en dejar recostado de pie el culmo recién cortado en el campo para que escurra la savia y el agua acumulada por un periodo de dos a tres días. Una variante de este método consiste en colocar el culmo de pie en un recipiente con la solución de curación para que se dé un intercambio de la savia a través la solución. Con cualquiera de los tres métodos es necesario realizar el curado justo después

de la corta. El secado ocurre después de dos o tres meses, con lo que le queda una humedad aproximada del 20 %. Es preferible que el almacenamiento sea vertical. (Retana, 2015¹⁴).

Seguridad laboral en las labores de aprovechamiento

El trabajo de extracción representa ciertos riesgos, ya que se pueden presentar accidentes por caídas de culmos y heridas por las espinas. Por lo tanto, deberán tener el equipo e indumentaria necesaria para su protección. Además de una buena comunicación entre los trabajadores de la cuadrilla.

El equipo de trabajo deberá estar compuesto por:

- Guantes especiales
- Lentes protectores
- Botas con plantilla protectora y punta de acero
- Podadoras manuales
- Casco ligero
- Botiquín

El riesgo de accidentes por no utilizar el equipo de protección es latente e inevitable. Las condiciones climáticas en las plantaciones de guadua son, por lo general, de temperaturas calientes, lo cual puede representar obvias molestias para los operadores. Sin embargo, estas molestias deben de descartarse al compararse con lo que implica un accidente laboral.

Análisis financiero

El debido conocimiento del costo que significa establecer y mantener una plantación de *Guadua angustifolia* es requerido para evaluar lo que representa la inversión y el porqué es necesario tener una buena silvicultura. Para que dé un ingreso rentable en el futuro, se debe de colocar la inversión en dos fases: establecimiento y mantenimiento.

El Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) provee un avío de costos de estas dos fases. Pero esta podría tener una variación a futuro en función de costos variables y la inflación. Sin embargo, no es propósito de este manual dar el costo actual de la plantación. Pero sí el de enumerar los insumos requeridos y los costos que pueden verse en proporción a la inflación futura.

¹⁴ Retana 2015: Comunicación personal

En los cuadros siguientes se muestran los costos normales de siembra en el 2015.

Los costos de mantenimiento implican las actividades necesarias más frecuentes en los cuatro primeros años para lograr la permanencia de la plantación. Los costos en fertilización y el control de malezas son fundamentales. Para realizar un análisis financiero, en forma adecuada, de una plantación de bambú, es necesario contar con información específica acerca de la zona en donde se está trabajando. Factores como la topografía, el tipo de suelo, las prácticas silviculturales y el área a plantar inciden, directamente, en los costos de un proyecto de reforestación con bambú.

Dentro del análisis es importante incluir todos los costos según los cinco grandes tipos de actividades requeridas para producir guadua. Dentro de cada uno de estos grandes grupos se deben registrar los diferentes tipos de costos fijos y costos variables.

Las cinco grandes actividades son:

1. El establecimiento: incluye los costos de preparación del terreno (limpieza, trazado, hoyado), el material de plantación (plántulas), la fertilización inicial, entre otros
2. El mantenimiento/manejo: dentro de este grupo se incluyen todas las actividades que son necesarias para el buen mantenimiento de una plantación
3. Los raleos/aprovechamiento: se trata de los costos asociados a las cortas intermedias, los raleos comerciales y el acarreo
4. Las cosechas y la comercialización
5. La administración

Como parte de este manual, y con la colaboración del MAG, se presenta un avío general de costos en donde se incluyen las cinco grandes actividades arriba mencionadas. Es importante mencionar que los costos de mano de obra presentados corresponden al de un trabajador agrícola especializado; ya que las labores de campo implican cuidados especiales en selección, corta, manejo y acarreo de los culmos. Este modelo servirá como base y se podrá adaptar o modificar a las diferentes condiciones del país. Los avíos no son totalmente certeros. El costo de la mano de obra depende de si el trabajador es eficiente; o de si el terreno posee un tacotal alto, medio o bajo. También depende de si el terreno tiene una pendiente fuerte o no; de si el suelo es pedregoso, arcilloso o arenoso; o si llueve mucho. Por lo tanto, se asumen condiciones normales de trabajo.

Cuadro 1. Costo del establecimiento de la plantación en horas y colones por hectárea

Actividad	Horas para la labor	Materiales	Costo/unidad(₡)	Costo total(₡)
1.Preparación del terreno: Chapia general	70 hr		1.723,45/hr	₡ 120.641,50
1.Preparación del terreno: Rodajea	20 hr		1.723,45/hr	₡ 34.469,00
2.Trazado (estaquillado del terreno)	16hrs	400 estaquillas	1.723,45/hr 20	₡ 27.575,20 ₡ 8.000,00
3.Drenajes	200		390/ metro lineal de canal	₡ 78.000,00
4.Hoyado del terreno	16 hr		1.723.45/hr	₡ 27.575,20
5.Siembra	14 hr	432 plantas(8% de reposición)	1.723.45/hr 800/planta	₡ 24.128,30 ₡ 345.600,00
6.Fertilización a la siembra	5 hr	Fertilizante 10-30-10 (50 gr por planta). 20 kg	1.723.45/hr 343/ kilo	₡ 8.617,25 ₡ 6.860,00
7. Sub-Total				₡ 681.466,45
8. Imprevistos (10%)				₡ 68.146,65
Total				₡ 749.613,10

Cuadro 2. Costo de mantenimiento del cultivo en el primer año

Actividad	Horas para la labor	Ciclos	Materiales	Costo/unidad(₡)	Costo total(₡)
1. Control de malezas: Rodajas	15 hr	3		1.723,45/hr	₡ 77.555,25
1. Control de malezas: chapea general	50 hr	1		1.723,45/hr	₡ 86.172,50
2. Fertilización	4 hr	4 50 gr/planta	86 kg	1.723,45/hr 326,57/kg	₡ 27.575,20 ₡ 28.215,65
3. Sub-Total					₡ 219.518,60

Cuadro 3. Costo de mantenimiento del cultivo en el segundo año

Actividad	Horas para la labor	Ciclos	Materiales	Costo/unidad(¢)	Costo total(¢)
1. Control de malezas: Rodajas	15 hr	3		1.723.45/hr	¢ 77.555,25
1. Control de malezas: chapea general	75,375 hr	1		1.723.45/hr	¢ 129.905,04
2- Fertilización	4	4		1.723,45/hr	¢ 27.575,20
		4	100 grs/planta	172,28 kg	¢ 56.431,30
3. Sub-Total					¢ 291.466,79

Cuadro 4. Costo de mantenimiento del cultivo en el tercer año

Actividad	Horas para la labor	Ciclos	Materiales	Costo/unidad(¢)	Costo total(¢)
1. Control de malezas: Rodajas	15 hr	3		1.723.45/hr	¢ 77.555,25
1. Control de malezas: chapea general	35 hr	1		1.723.45/hr	¢ 60.320,75
2. Fertilización	4	4		1.723,45/hr	¢ 27.575,20
		4	100 grs/planta	259,2 kg	¢ 84.646,94
3. Podas (sanitarias y desganche)	85	1		1.723.45/hr	¢ 146.493,25
4. Sub-Total					¢ 396.591,39

Cuadro 5. Costo de mantenimiento del cultivo en el cuarto año

Actividad	Horas para la labor	Ciclos	Materiales	Costo/unidad(¢)	Costo total(¢)
1. Control de malezas: Rodajas	8 hr	2		1.723.45/hr	¢ 27.575,20
2. Fertilización	4	4		1.723,45/hr	¢ 27.575,20
		4	150 grs/planta	259,2 kg	¢ 84.646,94
3. Podas (sanitarias y desganche)	85	1		1.723.45/hr	¢ 146.493,25
4. Sub-Total					¢ 286.290,59

Cuadro 6. Costo de mantenimiento y cosecha del cuarto año y cosecha del sexto al noveno año

Actividad	Descripción	Horas para la labor	Cantidad/ha	Costo/unidad (C)	Costo total(C)
1. Fertilización. Año 5		44		1.723,45/hr	¢ 75.831,80
			259,2 kg		¢ 84.646,94
2. Podas. Año 5		49		1.723.45/hr	¢ 84.449,05
	Corta		600	¢ 151,15	¢ 90.690,00
	Alistado y limpieza		600	¢ 60,46	¢ 36.277,20
3- Cosecha. Año 5	División de piezas		600	¢ 100,77	¢ 60.462,00
	Acarreo interno		600	¢ 60,46	¢ 36.276,00
	Cargas Sociales	52%	600		¢ 116.326,70
4.Sub-Total					¢ 584.959,70
5. Cosecha. Año 6			800	¢ 151,15	¢ 120.920,00
6. Cosecha. Año 7-9	3 años de corta		1000	¢ 151,15	¢ 453.450,00
7.Sub-Total					¢ 574.370,00
8.Total					¢ 1.159.329,70

Cuadro 7. Flujo de caja con asistencia financiera para el establecimiento a una tasa del 6 % de interés a nueve años plazo

<u>Ingresos esperados de una plantación</u>		Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9
Saldo de Caja anterior			¢0	¢0	¢0	¢0	¢509.052	¢1.340.124	¢2.615.579	¢3.927.537
Venta de Bambú (Culmos/ha)		¢0	¢0	¢0	¢0	¢600	¢800	¢1.000	¢1.000	¢1.000
Precio promedio	\$4,00	¢0	¢0	¢0	¢0	¢2.189	¢2.189	¢2.189	¢2.189	¢2.189
Tipo de Cambio	¢547,26									
INGRESOS	Total de Ingresos	¢0	¢0	¢0	¢0	¢1.313.424	¢1.751.232	¢2.189.040	¢2.189.040	¢2.189.040
Costos de Establecimiento		¢749.613	¢0	¢0	¢0	¢0	¢0	¢0	¢0	¢0
Mantenimiento		¢219.519	¢291.467	¢396.591	¢286.291	¢244.928				
Costos de Operación		¢0	¢0	¢0	¢0	¢116.327				
Cosecha		¢0	¢0	¢0	¢0	¢223.705	¢120.920	¢151.150	¢151.150	¢151.150
EGRESOS	Subtotal inversión plantación	¢969.132	¢291.467	¢396.591	¢286.291	¢584.960	¢120.920	¢151.150	¢151.150	¢151.150
Gastos de Administración		¢0	¢5.829	¢7.932	¢11.452	¢23.398	¢4.837	¢4.535	¢4.535	¢6.046
Asistencia técnica requerida		¢50.000	¢50.000	¢50.000	¢50.000	¢50.000	¢40.000	¢40.000	¢40.000	¢40.000
Subtotal gastos generales y administ		¢50.000	¢55.829	¢57.932	¢61.452	¢73.398	¢44.837	¢44.535	¢44.535	¢46.046
Total de egresos		¢1.019.132	¢347.296	¢454.523	¢347.742	¢658.358	¢165.757	¢195.685	¢195.685	¢197.196
Flujo de caja antes del financiamiento		-¢1.019.132	-¢347.296	-¢454.523	-¢347.742	¢655.066	¢2.094.527	¢3.333.479	¢4.608.934	¢5.919.381
Crédito aprobado		¢ 2.433.561					¢1.825.171	¢1.216.780	¢608.390	¢0
Desembolso del crédito		¢1.019.132	¢408.444	¢540.178	¢465.807					
Financiamiento requerido	Intereses venc. Anuales financiados		¢61.148	¢85.655	¢118.065	¢146.014				
	Amortización						¢608.390	¢608.390	¢608.390	¢608.390
	Intereses vencidos						¢146.014	¢109.510	¢73.007	¢36.503
	Gastos por inscripción y honorarios una vez	¢ -	¢0	¢0	¢0	¢0	¢0	¢0	¢0	¢0
	DESEMBOLSOS NETOS A RECIBIR	¢1.019.132	¢347.296	¢454.523	¢347.742					
Flujo neto despues de financiamiento		¢0	¢0	¢0	¢0	¢509.052	¢1.340.124	¢2.615.579	¢3.927.537	¢5.274.487

Bibliografía

- Alegría, A. (2013). *Manejo sostenible del recurso Guadua angustifolia en Costa Rica y su potencial para la mitigación del cambio climático. Estudio de caso: Plantación de Guadua angustifolia variedad Atlántica en la Estación Experimental Los Diamantes, Guápiles*. (Trabajo final de graduación para optar por el grado de Maestría). Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Charpentier, G. (2010). *Manual para el manejo agronómico y usos del bambú Guadua angustifolia (Kunth) en zonas rurales de Costa Rica*. Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).
- Cruz, H. (2009). *Bambú Guadua: Guadua angustifolia Kunth. Bosques naturales en Colombia y plantaciones comerciales en México*. Primera Edición. Gráficas Olímpica S.A.
- Deras, J. (2003). *Análisis de la Cadena Productiva del Bambú en Costa Rica*. (Tesis de Maestría). Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Deras, J. (2008). *Análisis de la cadena productiva del bambú en Costa Rica*. (Tesis de Postgrado). Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Giraldo, E. & Sabogal Espina, A. (1999). *Una alternativa sostenible la guadua: técnicas de cultivo y manejo*. Corporación Autónoma Regional del Quindío.
- Giraldo, E. (2008). *Bienes y servicios ambientales de la guadua en Colombia (Guadua angustifolia Kunth)*. Boletín informativo mensual N° 12 de la Red Internacional de Bambú y Ratán (INBAR). Colombia.
- INBAR. (2009). *Environment Factsheet* (7-8 p). N° 3. COP 15, Copenhagen.
- KFRI. (2014). *Manual for Establishment and Management of High-Tech Bamboo Nursery*. Bamboo Technical Support Group - KFRI Kerala Forest Research Institute, Peechi. Recuperado de http://www.bicindia.org/site_media/publications/manual_for_establishing_bamboo_nursery.pdf
- Ledgard, S. & Steele, K. (1992). Biological nitrogen fixation in mixed legume/grass pastures. *Plant and soil*, 141(1-2), 137-153.
- Mercedes, J. (2006). *Guía Técnica Cultivo del Bambú*. Santo Domingo, República Dominicana: CEDAF.
- Montiel, M., & Murillo, L. (1998). Historia ecológica y aprovechamiento del bambú. *Revista Biología Tropical*, 46(3):11-18
- Montiel, M., Jiménez, V. & Guevara, E. (2006). Caracterización anatómica ultraestructural de las variantes “Atlántica”, “Sur” y “Cebolla” del bambú, *Guadua angustifolia* (Poaceae: Bambusoideae), en Costa Rica. *Revista Biología Tropical*, 54(2): 1-12.
- Riaño, N., Londoño, X., López, Y. & Gómez, J. (2002). Plant growth and biomass distribution on *Guadua angustifolia* Kunth in relation to ageing in the Valle del Cauca – Colombia. *Bamboo Science and Culture: The Journal of the American Bamboo Society*, 16(1): 43-51.
- Rojas, R. (2009). Estimación del potencial de almacenamiento de carbono de la *Guadua angustifolia* en el parque nacional Carrasco, del Departamento de Cochabamba (Proyecto de grado en Licenciatura). Universidad de Nuestra Señora de la Paz, Bolivia.

7. Conclusiones.

- Este proyecto ha traído aspectos muy positivos a el desarrollo de conocimiento silvicultural de la especie *Guadua angustifolia*.
- La necesidad de intervenir una plantación o bosque de bambú *Guadua* aun cuando está en zonas de protección, es evidente para lograr su buen desarrollo y adecuado manejo en periodos de cosecha.
- La *Guadua* necesita de podas de sus culmos, los cuales no implican la eliminación de cobertura, al contrario estimulan el crecimiento y estabilidad de la macolla en el sitio.
- Existe una gran cantidad de material a extraer de las plantaciones de bambú del embalse Arenal, por lo que la falta de manejo hace que el material este en un constante desperdicio.
- El poder calórico obtenido de esta especie es comparable con el de especies forestales de alto poder calórico.
- Se necesita continuar investigaciones del potencial calórico de bambú *guadua* y otras especies, con otras técnicas como carbonización y torrefacción.
- Se sugiere la fabricación de pellets utilizando este material biomásico para aumentar las posibilidades de usos en el campo bioenergético.
- Un beneficio claro e inmediato de este proyecto es el de proveer al ICE con información necesaria del potencial de la materia prima no usada en el embalse. La información del inventario, plan de rehabilitación y poder calórico es una justificación para la intervención de estos rodales, no solo para su saneamiento sino para su uso como fuente energética.
- Esfuerzos futuros de reforestación con bambú, deben tener en cuenta su paquete de manejo particular, el cual se desvía del manejo de plantaciones forestales. Aun así se enfatiza la necesidad de ver esto como plantaciones que ocupan de manejo para su adecuado crecimiento y aprovechamiento.

8. Referencias.

- Alegría, A.M. 2013. Manejo sostenible del recurso *Guadua Angustifolia* en Costa Rica y su potencial para la mitigación del cambio climático. Estudio de caso: Plantación de *Guadua angustifolia* variedad Atlántica en la Estación Experimental Los Diamantes, Guápiles. Trabajo Final de Graduación sometido al Tribunal del Área Académica Agroforestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica para optar por el grado de Magister en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Área académica agroforestal. Programa de maestría en gestión de recursos naturales y tecnologías de producción. 87 pp.
- Arango, AM. 2011. Posibilidades de la *guadua* para la mitigación del cambio climático; caso: Eje Cafetero Colombiano. Trabajo de Pregrado. Pereira, Colombia, Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ciencias Ambientales. 113 p.
- Arias, L; Camargo, J; Cardona, H. 2008. Carbono orgánico edáfico en rodales de *Guadua angustifolia* Kunth y en pasturas arborizadas en la zona cafetera de Colombia. In Murgueitio, E; Cuartas, C; Naranjo, JF. (Eds.). Ganadería del futuro: Investigación para el desarrollo. Cali, Colombia, Fundación CIPAV. p. 245-261.
- Camargo, JC; Kleinn, C. 2010. Length curves and volume functions for *Guadua* bamboo (*Guadua angustifolia* Kunth) for the coffee region of Colombia. *European Journal of Forest Research* 129(6): 1231-1222

- Camargo, JC; Rodríguez, JA; Arago, AM. 2012. Crecimiento y fijación de carbono en una plantación de guadua en zona cafetalera de Colombia. *Revista Forestal Centroamericana*. 61: 86-94.
- CASTAÑO N, Francisco. Estudio Exploratorio de la calidad de sitio y su incidencia en el crecimiento y desarrollo de los bosques y las plantaciones de guadua. CRQ-GTZ.
- Cruz, H. 2009. Bambú-Guadua *Guadua angustifolia* Kunth: bosques naturales en Colombia; plantaciones comerciales en México. Pereira, Colombia. 690 p.
- Deras, J.E., Stoian, D., Morales D. 2003. La cadena productiva del Bambú en Costa Rica. Potencial de desarrollo de un recurso subutilizado en América Latina. *Recursos Naturales y Ambiente* no 46-47: 127-136.
- Galindo, A. L., E. S. Lora, et al. (2014). "Biomass gasification in a downdraft gasifier with a two-stage air supply: Effect of operating conditions on gas quality." *Biomass and Bioenergy* 61(0): 236-244.
- García-Arias W. 2005, Informe técnico de la visita de inspección a plantaciones de bambú *Guadua angustifolia* y *Guadua aculeata* (chaquensis) del área de amortiguamiento del Embalse Arenal, Tilarán, Guanacaste. Preparado por el Área de Apoyo a otras Cuencas. Unidad de Manejo de Cuencas (UMC-agropecuaria), UEN - PySA. A solicitud de la Dirección Administrativa de Bienes Inmuebles – DABI (Subgerencia Administrativa Institucional), ICE. Impreso (Agosto, 2005) - San José, CR. ICE, UEN - PySA., Unidad de Manejo de Cuencas – UMC. E-mail: wgarcía@ice.go.cr
- González-Trejos G, Serrano-Montero R. 2007. Desarrollos tecnológicos para la producción, industrialización y comercialización del bambú (*Guadua angustifolia*) creciendo en los alrededores de la Laguna del Arenal (Informe final). P. imprenta: Cartago (Costa Rica). 74 p
- Green, S., B. Clothier, et al. (2003). "Theory and Practical Application of Heat Pulse to Measure Sap Flow." *Agronomy Journal* 95(6): 1371-1379. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2003.1371>
- Hall, D. and J. Scrase (1998). "Will biomass be the environmentally friendly fuel of the future?" *Biomass and Bioenergy* 15(4): 357-367.
- Haus, S., L. Gustavsson, et al. (2014). "Climate mitigation comparison of woody biomass systems with the inclusion of land-use in the reference fossil system." *Biomass and Bioenergy* 65(0): 136-144.
- Haruthaithanasan, M. 2014. Bioenergy and fiber use of bamboo biomass from small-scale plantations in Thailand. Poster presentation at IUFRO Forestry World Congress http://iufro2014.com/wp-content/uploads/2014/09/14-USD-0003.ScientificProgram_Web1.pdf page 120.
- Hudson, N. (1997). Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía, Food & Agriculture Org.
- INBAR (Red Internacional del Bambú y Ratán). 1999. Evaluation of bamboo resources in Latin America. Cali, Colombia. 65 p.
- Judziwiez, EJ; Clark, LG; Londoño, X; Stem, M. 1999. American bamboos. Smithsonian Institution, Washington, USA. 392 p
- KFRI. 2014. Manual for Establishment and Management of High-Tech Bamboo Nursery. Bamboo Technical Support Group- KFRI Kerala Forest Research Institute, Peechi March 2014

- Levillain, J., A. Thongo M'Bou, et al. (2011). "Is the simple auger coring method reliable for below-ground standing biomass estimation in Eucalyptus forest plantations?" *Annals of Botany* 108(1): 221-230.
- Mercedes, J. 2006. Guía técnica cultivo del bambú. Santo Domingo, República Dominicana. CEDAF, 2006. 38 p.
- Morales, D. 2002. Análisis de la población y productores de bambú en Costa Rica. Proyecto Guadua Bamboo. Estudio de línea base. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 33 p.
- Riaño, N.M., Londoño, X., López, Y., Gómez, J.H. 2002. Plant growth and biomass distribution on *Guadua angustifolia* Kunth in relation to ageing in the Valle del Cauca – Colombia *Bamboo Science and Culture: The Journal of the American Bamboo Society* 16(1): 43-51
- Riaño, NM; Londoño, X; López, Y; Gómez, JH. 2002. Plant growth and biomass distribution on *Guadua angustifolia* Kunth in relation to ageing in Valle del Cauca-Colombia. *Bamboo Science and Culture: The Journal of the American Bamboo Society* 16(1): 43-51.
- Werhahn-Mees, W., Palosuo, T., García-Gonzalo, J., Röser, D. and Lindner, M. 2011. Sustainability impact assessment of increasing resource use intensity in forest bioenergy production chains. *GCB Bioenergy*, 3: 91–106. doi: 10.1111/j.1757-1707.2010.01068x.

9. Anexos.

Resumen del Inventario de las plantaciones alrededor del embalse Arenal.

Tabla 9.1 Resumen de resultados del Inventario de las plantaciones de Bambú (*Guadua angustifolia*) en el embalse Arenal 2016-2017.

bloques	Area	Parcelas establecidas	Area muestreada	Cuenta de Culmos	Culmos/ha	Cosecha culmos/ha	Promedio de DAP (cm)	Desvest de DAP (cm)	Equitatividad	Uniformidad
5	3,71	7	0,07	326	4657	163	10,71	2,12	28,49	5,06
6	3,56	8	0,08	236	2950	115	12,03	2,61	25,66	4,62
8	2,00	5	0,05	199	3980	390	9,56	1,83	10,19	5,21
10	2,72	6	0,06	180	3000	421	8,12	2,47	7,13	3,28
11	0,64	3	0,03	171	5700	1050	7,36	1,80	5,43	4,10
12	1,32	3	0,03	222	7400	1157	8,29	2,07	6,40	4,00
13	2,47	4	0,04	208	5200	289	5,83	1,55	17,97	3,76
15	4,73	10	0,1	402	4020	143	11,11	5,32	28,09	2,09
	21,14				4613	466	9	2	16	4

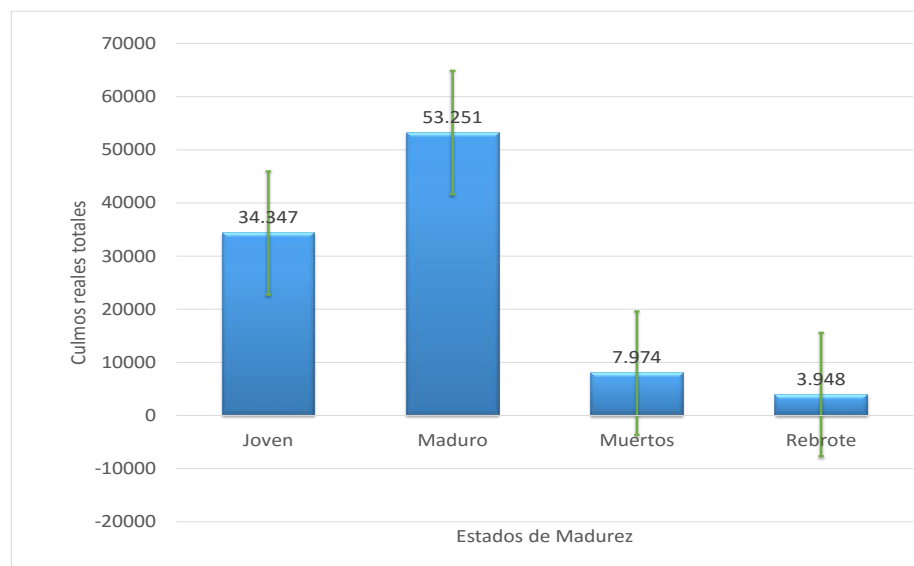


Figura 9.1. Totalidad de culmos presentes en el embalse Arenal en los bloques muestreados en el proyecto. 2017.

Tabla 9.2 Detalle de situación por bloque de inventario de las plantaciones de Bambú (*Guadua angustifolia*) en el embalse Arenal 2016-2017.

Bloq/Madurez	Cuenta de Culmo	%	Promedio de DAP (cm)	Promedio de h (m)	Suma de Volumen real	Suma de Biomasa (kg)
Bloque 5	326		10,71	19,47	17,49	11718,75
Jovenes	116	35,58	10,34	21,89	6,89	4613,46
Maduros	170	52,15	10,75	21,32	10,03	6721,79
Rebrotos	35	10,74	11,47	3,81	0,40	267,24
Muertos	5	1,53	12,36	10,80	0,17	116,25
Bloque 6	236		12,03	14,01	10,74	7196,41
Jovenes	81	34,32	12,36	16,37	4,50	3017,55
Maduros	128	54,24	11,67	15,08	6,07	4064,76
Rebrotos	27	11,44	12,77	1,83	0,17	114,11
Bloque 8	199		9,56	20,61	10,21	6840,49
Jovenes	82	41,21	9,34	20,72	4,14	2770,94
Maduros	105	52,76	9,87	21,57	5,76	3858,91
Rebrotos	7	3,52	9,14	7,90	0,15	100,73
Muertos	5	2,51	7,30	16,60	0,16	109,91
Bloque 10	180		8,12	12,73	4,94	3310,77
Jovenes	66	36,67	7,72	12,61	1,74	1166,50
Maduros	95	52,78	8,41	12,98	2,69	1804,84
Rebrotos	4	2,22	8,10	10,00	0,09	60,37
Muertos	15	8,33	7,96	12,40	0,42	279,05
Bloque 11	171		7,36	12,84	4,08	2735,64
Jovenes	45	26,32	6,63	12,22	0,92	615,27
Maduros	122	71,35	7,72	13,30	3,14	2106,00
Rebrotos	2	1,17	4,75	5,00	0,01	5,69
Muertos	2	1,17	4,80	6,50	0,01	8,69
Bloque 12	222		8,29	19,11	8,89	5956,44
Jovenes	73	32,88	7,69	19,30	2,68	1797,00
Maduros	109	49,10	8,86	19,50	4,83	3236,16
Rebrotos	4	1,80	7,20	13,08	0,10	68,65
Muertos	36	16,22	7,89	18,22	1,28	854,63
Bloque 13	208		5,83	7,71	2,22	1484,63
Jovenes	101	48,56	5,83	7,79	1,09	727,83
Maduros	78	37,50	5,79	7,65	0,81	539,83
Rebrotos	6	2,88	7,13	8,25	0,10	67,23
Muertos	23	11,06	5,63	7,39	0,22	149,74
Bloque 15	402		11,11	23,09	27,12	18173,63
Jovenes	113	28,11	10,62	23,54	7,43	4979,15
Maduros	279	69,40	11,42	23,39	19,48	13053,97
Rebrotos	10,00	2,49	8,19	9,80	0,21	140,50

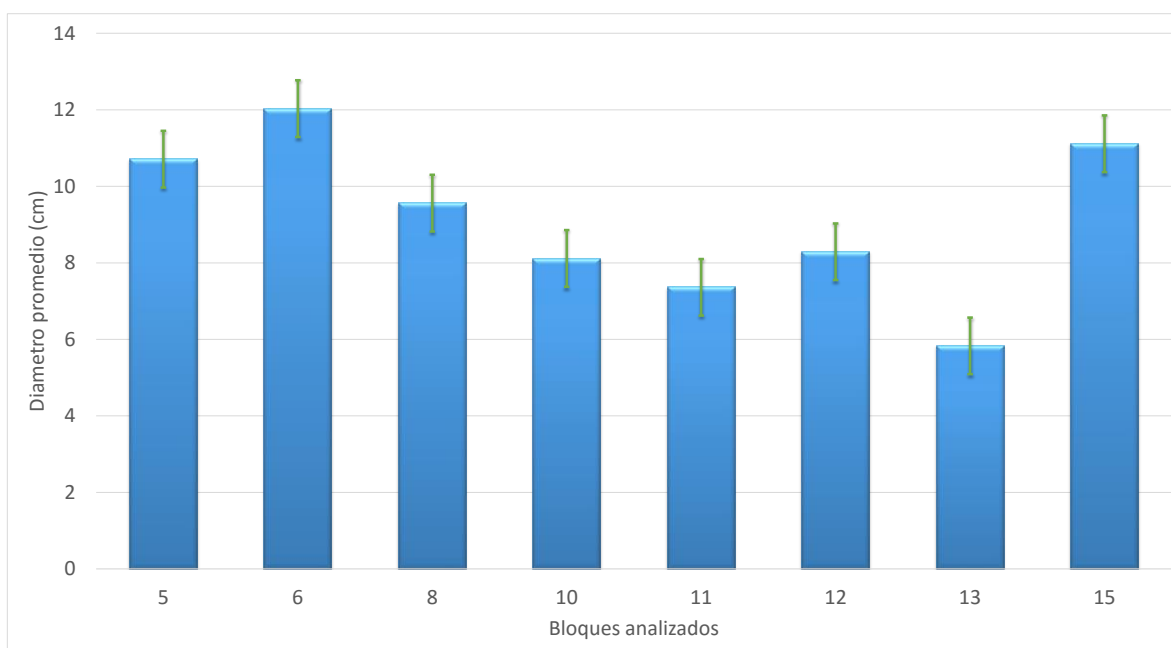


Figura 9.2. Díámetro promedio por bloque analizado en el embalse Arenal en los bloques muestreados en el proyecto. 2017.

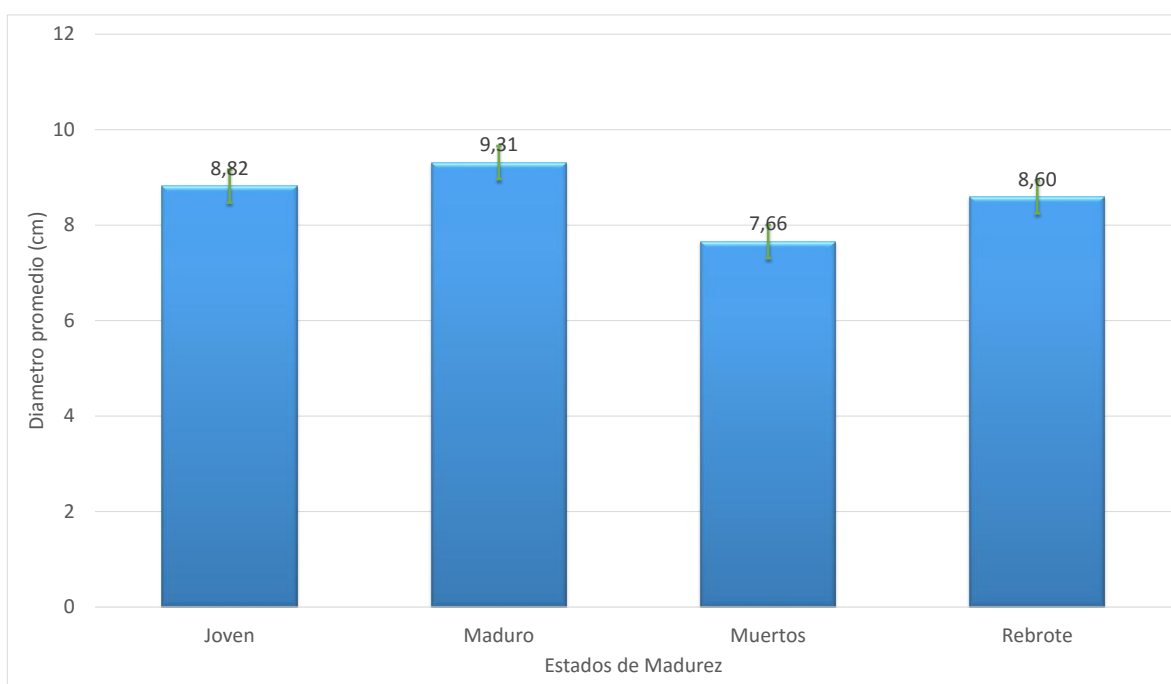


Figura 9.3. Díámetro promedio por estado de madurez en el embalse Arenal en los bloques muestreados en el proyecto. 2017.

. Resumen del inventario de las plantaciones por bloque.

Madurez	Bloque	Culmos/ha	Promedio de DAP (cm)	Promedio de h (m)	Volumen/ha (m3/ha)	Biomasa Verde (Mg/ha)	Biomasa Seca_RL (Mg/ha)
Joven	5	1657	10,34	21,89	98,37	65,91	33,82
Joven	6	1013	12,36	16,37	56,30	37,72	26,34
Joven	8	1640	9,34	20,72	82,71	55,42	28,92
Joven	10	1100	7,72	12,61	29,02	19,44	14,44
Joven	11	1500	6,63	12,22	30,61	20,51	15,12
Joven	12	2433	7,69	19,30	89,40	59,90	31,74
Joven	13	2525	5,83	7,79	27,16	18,20	19,86
Joven	15	1130	10,62	23,54	74,32	49,79	23,94
Maduro	5	2429	10,75	21,32	143,32	96,03	52,36
Maduro	6	1600	11,67	15,08	75,84	50,81	38,56
Maduro	8	2100	9,87	21,57	115,19	77,18	40,08
Maduro	10	1583	8,41	12,98	44,90	30,08	23,83
Maduro	11	4067	7,72	13,30	104,78	70,20	53,32
Maduro	12	3633	8,86	19,50	161,00	107,87	59,22
Maduro	13	1950	5,79	7,65	20,14	13,50	15,14
Maduro	15	2790	11,42	23,39	194,84	130,54	65,30
Rebrote	5	500	11,47	3,81	5,70	3,82	11,78
Rebrote	6	338	12,77	1,83	2,13	1,43	9,17
Rebrote	8	140	9,14	7,90	3,01	2,01	2,39
Rebrote	10	67	8,10	10,00	1,50	1,01	0,95
Rebrote	11	67	4,75	5,00	0,28	0,19	0,32
Rebrote	12	133	7,20	13,08	3,42	2,29	1,56
Rebrote	13	150	7,13	8,25	2,51	1,68	1,72
Rebrote	15	100	8,19	9,80	2,10	1,41	1,44
Muertos	5	71	12,36	10,80	2,48	1,66	1,86
Muertos	8	100	7,30	16,60	3,28	2,20	1,20
Muertos	10	250	7,96	12,40	6,94	4,65	3,45
Muertos	11	67	4,80	6,50	0,43	0,29	0,33
Muertos	12	1200	7,89	18,22	42,52	28,49	16,33
Muertos	13	575	5,626086957	7,391304348	5,587202965	3,743425987	4,1978

Muestra de Excel con Datos recibidos por el ICE.

Bloque	Parcela	Culmo	DAP (cm)	h (m)	Estado de madurez	EM simpl	SANIDAL	Estado fitosanitar	Ingreso	Volumen 1(m3)	Volumen 2(m3)	Volumen real	Biomasa verde(kg)	Biomasa seca(kg)	Biomasa seca(48%sec o kg)	Biomasa Seca (RL) (kg)	FF: 0,76	Gp: 1,21	Densidad 670	materia sec 0,4911	p Humedad 0,5059	Y=aX+b 1,000	2,78	-8,34
S	201	1	12,7	17	M	M	1	sano	1	0,1637	0,1072	0,0564	37,81	18,68	18,23	26,97	17,51							
S	201	2	12	17	S	J	1	sano	1	0,1461	0,0931	0,0530	35,51	17,54	17,12	25,02	17,12							
S	201	3	10,9	17	S	J	1	sano	1	0,1206	0,0730	0,0476	31,89	15,75	15,38	21,96	15,38							
S	201	4	11,2	14	S	J	1	sano	1	0,1048	0,0644	0,0404	27,07	13,38	13,05	22,80	13,05							
S	201	5	12,2	17	M	M	1	sano	1	0,1510	0,0971	0,0540	36,16	17,87	17,44	25,58	17,44							
S	201	6	11,7	16	S	J	1	sano	1	0,1307	0,0822	0,0485	32,49	16,05	15,67	24,19	15,67							
S	201	7	11,6	17	S	J	1	sano	1	0,1365	0,0855	0,0510	34,19	16,89	16,49	23,91	16,49							
S	201	8	9,3	15	M	M	1	sano	1	0,0774	0,0424	0,0351	23,49	11,61	11,33	17,51	11,33							
S	201	9	11,3	17	M	M	1	sano	1	0,1296	0,0800	0,0496	33,20	16,41	16,01	23,07	16,01							
S	201	10	9,8	16	M	M	1	sano	1	0,0917	0,0520	0,0397	26,60	13,14	12,83	18,90	12,83							
S	201	11	12	16	M	M	3	Lianas	1	0,1375	0,0877	0,0499	33,42	16,51	16,11	25,02	16,11							
S	201	12	11,5	16	M	M	1	sano	1	0,1263	0,0787	0,0476	31,87	15,75	15,37	23,63	15,37							
S	201	13	10,6	16	M	M	1	sano	1	0,1073	0,0639	0,0434	29,08	14,37	14,02	21,13	14,02							
S	201	14	11,5	17	M	M	1	sano	1	0,1342	0,0837	0,0505	33,86	16,73	16,33	23,63	16,33							
S	201	15	12	17	S	J	3	Lianas	1	0,1461	0,0931	0,0530	35,51	17,54	17,12	25,02	17,12							
S	201	16	7	16	M	M	1	sano	1	0,0468	0,0200	0,0268	17,93	8,86	8,65	11,12	8,65							
S	201	17	5,5	10	M	M	1	sano	1	0,0181	0,0057	0,0124	8,30	4,10	4,00	6,95	4,00							
S	201	18	7,9	13	J	J	1	sano	1	0,0484	0,0233	0,0251	16,83	8,32	8,12	13,62	8,12							
S	201	19	12,5	15	M	M	1	sano	1	0,1399	0,0910	0,0489	32,78	16,20	15,81	26,41	15,81							
S	201	20	11,5	15	M	M	1	sano	1	0,1184	0,0738	0,0446	29,88	14,76	14,41	23,63	14,41							
S	201	21	11,2	17	J	J	1	sano	1	0,1273	0,0782	0,0491	32,87	16,24	15,85	22,80	15,85							
S	201	22	10,7	17	M	M	1	sano	1	0,1162	0,0696	0,0466	31,23	15,43	15,06	21,41	15,06							
S	201	23	12	15	X	X	2	muerto	1	0,1289	0,0822	0,0468	31,33	15,48	15,11	25,02	15,11							
S	201	24	11,8	16	R	R	1	sano	1	0,1330	0,0840	0,0490	32,80	16,21	15,81	24,46	15,81							

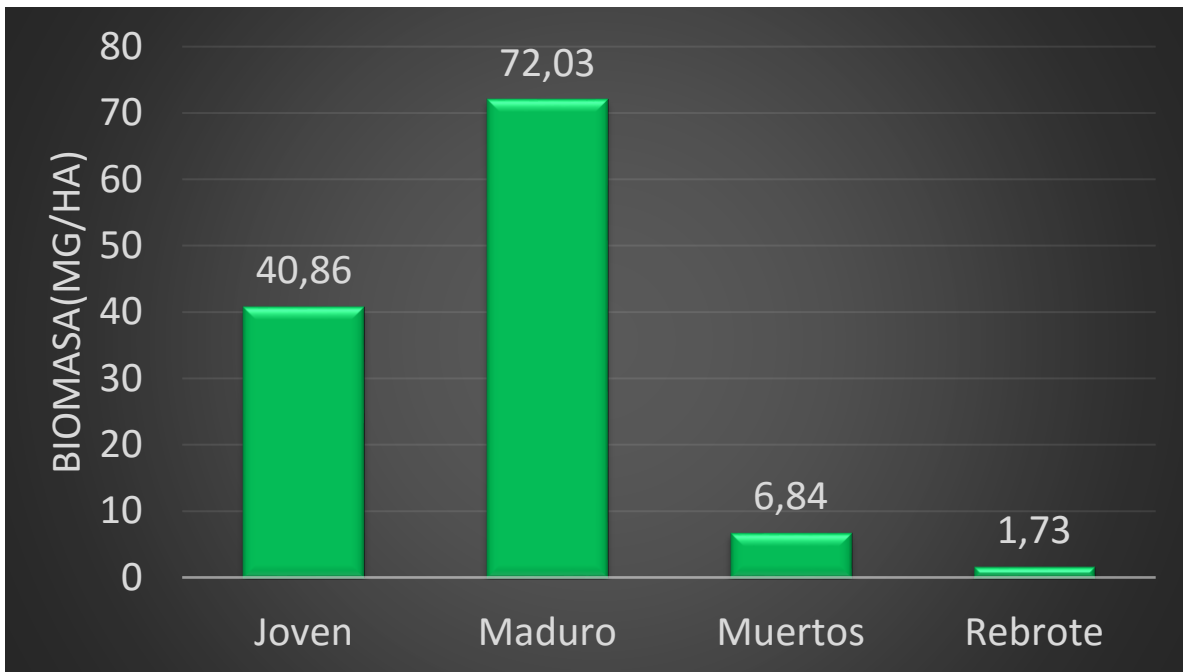


Figura 9.4. Toneladas por Hectárea promedio según estado de madurez

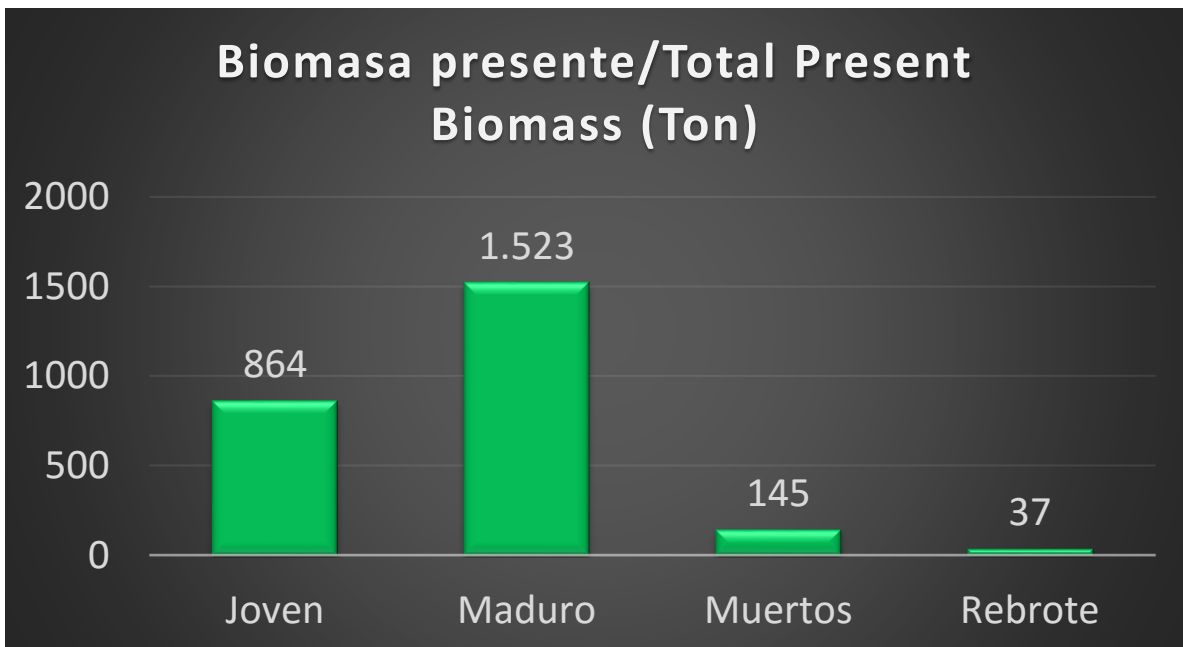


Figura 9.5. Biomasa presente total en toneladas en las plantaciones del embalse Arenal

Anexo 2. Inventario de bloques, puntos de muestreo y area total bajo plantaciones de bambú en el embalse Arenal.

	BLOQUE	CANTIDAD PUNTOS	ÁREA (ha)	proporcion del total	parcelas potenciales	# parcelas a establecer	Parcelas establecidas
Inicial	Bloque 1	4	0,022	0,001	0,04	1	0
	Bloque 2	4	0,028	0,001	0,06	1	0
	Bloque 3	49	0,439	0,019	0,89	1	0
	Bloque 4	144	1,262	0,053	2,57	2	0
	Bloque 5	425	3,7143	0,16	7,55	8	7
	Bloque 6	380	3,556	0,151	7,23	7	8
	Bloque 8	625	2	0,085	4,07	4	5
	Bloque 10	293	2,715	0,12	5,52	5	6
	Bloque 11b	71	0,642	0,03	1,31	1	3
	Bloque 12b	147	1,316	0,06	2,68	3	3
	Bloque 13	266	2,473	0,10	5,03	4	4
	Bloque 14	91	0,706	0,03	1,44	1	0
	Bloque 15	478	4,728	0,20	9,62	10	10
	total		23,60	1	48,00	42	46

Anexo 3. Establecimiento de plantaciones dendroenergéticas de bambú.



Anexo 4.

Aspectos con tareas inconclusas

Este capítulo tiene como objetivo: Determinar potencial de servicios ecosistémicos a través del estudio fisiológico de especies seleccionadas. El mismo cita las actividades que se realizan para este objetivo. Algunas actividades están implícitas en los capítulos anteriores y otras se adjuntan en anexos.

Actividad: Construir curvas de respuesta fotosintética de cada especie y sitio

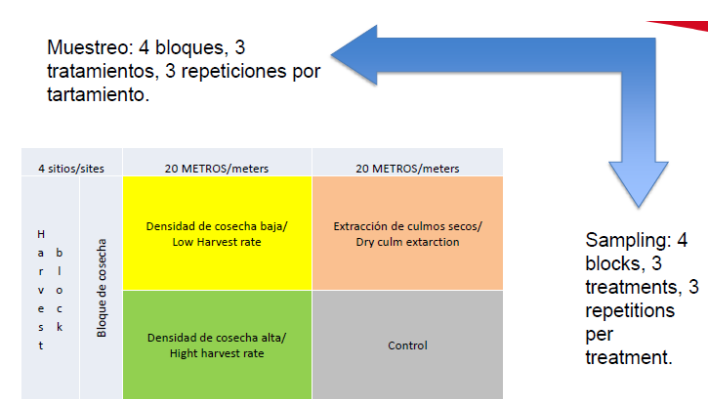
Situación: El CIRAS II nunca se usó por estar en reparación. En el 2016 el aparato se dañó y las reparaciones, que son extensas y costosas se iniciaron, pero el mismo no llegó a tiempo para una óptima toma de datos. De hecho el mismo sigue en la casa matriz en Estados Unidos. La razón del atraso es debido a que el equipo esta discontinuado y la pieza faltante no han podido ser conseguida de manera fácil a la fecha del final del proyecto.

Instalar sensores de balance hídrico in-situ, en plantaciones ya consolidadas.

Situación: Se requería: Construir las ecuaciones de eficiencia del uso de agua de cada especie. Se realizó una calibración inicial en el laboratorio. Por la naturaleza de los sensores, los cuales son altamente costosos, se consultó al ICE la situación en la zona. No se dio garantía de seguridad del equipo, por lo que no se pudo realizar esta tarea.

Pruebas de combustión en gasificadores caseros, para pruebas de potencial calórico

Situación: Los gasificadores caseros se usaron como carbonizadores (ver foto adjunta) para hacer pruebas de combustión. Eventualmente se optó por realizar pruebas de calorimetría (ver tablas abajo), utilizando bloques de cosecha en el proyecto y extrapolando los datos a el inventario realizado. De cada bloque se extrajeron 9 muestras las cuales fueron llevadas al laboratorio para su preparación y utilización en la bomba calorimétrica. Esta información se presentó en el congreso internacional en Perú, y se adjunta abajo y en los anexos.



. Esquema de extracción de muestras para pruebas calorimétricas

Anexo 5.

Pruebas de calorimetría en bloques de cosecha para *Guadua angustifolia* en embalse arenal. Las pruebas se realizaron utilizando culmos maduros.

Muestra	M. Neta, g	DT, °C	Cp, cal/°C	Poder Calórico (KJ/kg)	Poder Calórico (MJ/kg)	Poder Calórico (MJ/ton)
B10-1	0,1172	0,9648	4356,87	18229,16	18,23	18229,16
B10-2	0,1157	0,9727	4450,56	18621,14	18,62	18621,14
B10-3	0,1153	0,9385	4304,40	18009,61	18,01	18009,61
B10-4	0,1206	0,964	4230,43	17700,12	17,70	17700,12
B10-5	0,1582	1,2767	4301,83	17998,86	18,00	17998,86
B10-6	0,1445	1,1802	4345,86	18183,06	18,18	18183,06
B10-7	0,1685	1,4042	4451,11	18623,44	18,62	18623,44
B10-8	0,1923	1,5397	4284,10	17924,68	17,92	17924,68
B10-9	0,1045	0,8068	4062,65	16998,12	17,00	16998,12
B11-1	0,1043	0,803	4050,59	16947,67	16,95	16947,67
B11-2	0,1076	0,8859	4265,40	17846,42	17,85	17846,42
B11-3	0,0908	0,7753	4402,93	18421,84	18,42	18421,84
B11-4	0,1229	1,0329	4374,30	18302,08	18,30	18302,08
B11-5	0,1035	0,8786	4396,63	18395,50	18,40	18395,50
B11-6	0,1102	0,935	4403,13	18422,71	18,42	18422,71
B11-7	0,1039	0,8826	4400,30	18410,86	18,41	18410,86
B11-8	0,1033	0,8858	4442,43	18587,14	18,59	18587,14
B11-9	0,0816	0,717	4517,10	18899,54	18,90	18899,54
B12-1	0,107	0,9428	4573,82	19136,84	19,14	19136,84
B12-2	0,0828	0,6984	4331,45	18122,79	18,12	18122,79
B12-3	0,1063	0,9011	4394,06	18384,75	18,38	18384,75
B12-4	0,0928	0,8076	4494,25	18803,93	18,80	18803,93
B12-5	0,0901	0,8044	4609,92	19287,92	19,29	19287,92
B12-6	0,0804	0,7103	4539,93	18995,08	19,00	18995,08
B12-7	0,1228	1,0599	4495,49	18809,15	18,81	18809,15
B12-8	0,104	0,8814	4389,90	18367,33	18,37	18367,33
B12-9	0,1142	0,9554	4344,48	18177,29	18,18	18177,29
PROMEDIOS				18318,78	18,32	18318,78